

## Inhalt

Inhalt .....	I
Abbildungsverzeichnis.....	II
Tabellenverzeichnis.....	II
Formelverzeichnis.....	III
Darstellungsverzeichnis .....	III
1. Einleitung .....	1
2. Beton .....	3
2.1. Stahlbeton .....	5
2.2. Betonschäden .....	5
2.3. Beschichteter Beton .....	8
2.3.1. Epoxidharz .....	9
2.3.2. Polyurethan .....	10
2.4. Instandsetzungsmaßnahmen von Betonbauteilen .....	11
3. Fertigungsverfahren.....	13
3.1. Fräsen.....	15
3.1.1. Allgemeines.....	15
3.1.2. Einflussfaktoren .....	17
3.1.2.1. Fräslamellen.....	17
3.1.2.2. Vorschub .....	19
3.1.2.3. Tiefeneinstellung.....	20
3.2. Schleifen.....	20
3.2.1. Schleifen mit monokristallinem Diamant .....	21
3.2.2. Schleifen mit polykristallinem Diamant .....	26
3.2.3. Einflussfaktoren .....	26
3.2.3.1. Umfangsgeschwindigkeit .....	26
3.2.3.2. Nassschliff.....	27
4. Ablauf der Instandsetzung .....	28
4.1. Grundlagen der Voruntersuchungen .....	28
4.2. Untersuchungsmethoden.....	28
4.2.1. Augenschein .....	29
4.2.2. Praxisnahe Untersuchungen und deren Prüfverfahren .....	29
4.2.2.1. Sandflächenverfahren.....	32

4.2.2.2. Haftzugprüfung .....	33
4.3. Arbeitsschutz.....	34
4.3.1. Allgemeiner Arbeitsschutz .....	36
4.3.2. Befahren von Behältern und Gruben .....	37
4.4. Lösungskonzept.....	39
5. Beurteilungskriterien .....	45
5.1. Qualitätsparameter .....	45
5.2. Produktivitätsparameter .....	46
5.3. Ökonomische Kenngrößen .....	56
6. Zusammenfassung und Ausblick.....	60
6.1. Zusammenfassung .....	60
6.2. Ausblick .....	61
Literaturverzeichnis.....	63
Anhang.....	IV
Selbstständigkeitserklärung.....	VI

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung I: Häufigkeit von Schäden bei Stahlbetonbauteilen.....	7
Abbildung II: Stirn- und Umfangsfräsen.....	16
Abbildung III: Wirkprinzip Lamellenfräsen .....	17
Abbildung IV: Breite Fräslamelle .....	18
Abbildung V: Verschiedene Fräslamellen .....	18
Abbildung VI: Frästrommel .....	19
Abbildung VII: Formen der Grundkörper nach DIN ISO 6104.....	22
Abbildung VIII: Kennbuchstaben und Formen des Schleifbelags nach DIN ISO 6104 .....	23
Abbildung IX: Anordnung der Schleifbeläge nach DIN ISO 6104.....	24
Abbildung X: Gefährdungsbeurteilung - Vorgehensweise.....	34
Abbildung XI: Mögliche Gefährdungen.....	35
Abbildung XII: Verfahren für die Vorbereitung von Oberflächen.....	40
Abbildung XIII: Versuchsaufbau .....	47
Abbildung XIV: Rondo mit PKD-Split .....	48
Abbildung XV: Ermittlung der Abtragstiefe von Abschnitt 1.....	49
Abbildung XVI: Coatex Schleifscheibe mit metallgebundenen Diamanten.....	50
Abbildung XVII: Ermittlung der Abtragstiefe von Abschnitt 2 .....	51
Abbildung XVIII: Fräsmaschine mit beschichteter Betonplatte .....	53
Abbildung XIX: Fräskorb mit Fräslamellen .....	53
Abbildung XX: Oberflächenstruktur nach Fräsdurchgang .....	54

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Schadensursachen .....	6
Tabelle 2: Instandsetzungsmaßnahmen und dazugehörige Verfahren .....	11

Tabelle 3: Hauptgruppen der Fertigungsverfahren .....	13
Tabelle 4: Unterteilung der Hauptgruppe Trennen .....	14
Tabelle 5: Unterteilung der Gruppe Spanen .....	15
Tabelle 6: Übersicht zu näheren Untersuchungen .....	30
Tabelle 7: Zeit-Spanungs-Volumen $Q_1$ .....	49
Tabelle 8: Zeit-Spanungs-Volumen $Q_2$ .....	52
Tabelle 9: Zeit-Spanungs-Volumen $Q_3$ .....	55
Tabelle 10: Kosten bei der Bearbeitung von Beton .....	57
Tabelle 11: Kosten bei der Bearbeitung von Beschichtungen .....	58

### Formelverzeichnis

Formel 1	$CaOH_2 + CO_2 \rightarrow Ca_2 + + 2OH -$ .....	8
Formel 2	$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO_3$ .....	8
Formel 3	$Ca(OH)_2 + H_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + 2H_2O$ .....	8
Formel 4	$R = 40 \cdot V\pi \cdot d^2$ .....	32
Formel 5	$i = 16,4m0,25m = 65,6$ .....	42
Formel 6	$r^2 = ai^2 + bi^2$ .....	42
Formel 7	$l = 2 \cdot r + i = 165r^2 - bi^2 \cdot 4$ .....	42
Formel 8	$l_{ges} = 2 \cdot l = 2 \cdot 3380,28 m = 6760,56 m$ .....	42
Formel 9	$A = 14 \cdot \pi \cdot d^2$ .....	43
Formel 10	$963 m^2 90 m^2 = 10,7$ .....	43
Formel 11	.....	49
Formel 12	.....	50
Formel 13	.....	52
Formel 14	.....	52
Formel 15	.....	55
Formel 16	.....	55

### Darstellungsverzeichnis

Darstellung I: Erdgedeckter Tank .....	IV
Darstellung II: Umrechnungstabelle US/mesh in Millimeter .....	V

# 1. Einleitung

Zur Sicherstellung einer stabilen Versorgung der Wirtschaft und des öffentlichen Lebens werden Brenn- und Treibstoffe, aber auch Grundstoffe für Lebensmittel bevorratet. Von Betreibergesellschaften werden dafür Großbehälter genutzt, die bis in die heutige Zeit aus Beton beziehungsweise Stahlbeton errichtet werden. Silos bevorraten unter anderem Getreide, Tankbehälter hingegen Treibstoffe wie Benzin und Diesel. Zum Schutz des Betons und des Grundwassers wurden diese Bevorratungsbauwerke teilweise mit Beschichtungen versehen. Entsprechend dem Wasserhaltungsgesetz müssen diese Anlagen durch unabhängige Institute alle fünf Jahre und in Wasserschutzgebieten alle zwei Jahre überprüft werden. Eine neue Zulassung wird fällig, wenn diese Anlagen länger als ein Jahr still standen. Dadurch werden Reparaturen und regelmäßige Instandsetzungsmaßnahmen unumgänglich. Da der Reparaturbedarf auch durch die jahrelange Nutzung ansteigt, müssen wirtschaftliche Verfahren eingesetzt werden.

Aufgrund der Vielfalt von Großbehältern sollen in dieser Arbeit die Tanks als Exempel dienen. In den Tanks, die zur Lagerung von Kraftstoffen wie Benzin und Diesel ausgelegt wurden, entstehen durch die Verwendung von Biodiesel neue Anforderungen. Biodiesel ist sehr aggressiv. Die Beschichtungen, die bisher verwendet wurden, sind dafür nicht geeignet. Durch strengere Richtlinien bei Sicherheitsfragen und Instandsetzungsmaßnahmen ergeben sich bei Reparaturen und Instandsetzungen neue Herausforderungen. Die in dieser Arbeit behandelten Tankbehälter haben einen Durchmesser von 35 Metern und eine Höhe von 15 Metern. Der Zugang erfolgt über ein Mannloch, welches einen Durchmesser von 80 Zentimetern besitzt. Teilweise befinden sich die Tanklager auch unter der Erde. Die großen Dimensionen und schwere Zugänglichkeiten sind repräsentativ für diese Großbehälter.

Um einen Eindruck der Dimensionen zu bekommen, befindet sich im Anhang die Darstellung I: Erdgedeckter Tank. Da brennbare Flüssigkeiten gelagert wurden, ist die Bezeichnung Tank in diesem Falle zu wählen. Wenn nicht brennbare Flüssigkeiten gelagert wurden oder werden, wird die Bezeichnung Behälter verwendet.

Bisher erfolgten Reparaturen solcher Tanks nur in kleinem Umfang. Die Aufarbeitungen fanden manuell und mit hohem Zeit- und Kostenaufwand statt, so dass an einer wirtschaftlicheren Lösung gearbeitet werden muss. An vollständige Instandsetzungen haben sich bisher nur sehr wenige Betreiber herangewagt. Der hohe Aufwand, den die Instandsetzungsmaßnahmen eines solchen Behältnisses nach sich ziehen, schreckt viele Firmen ab.

Aufgrund der sehr kleinen Einstiege ist das Verwenden großer Maschinen praktisch ausgeschlossen. Daraus folgt, dass nur eine manuelle Bearbeitung mit kleiner Technik möglich ist. Dabei ist die körperliche Belastung für die Arbeiter und die

Gesundheitsgefährdung durch Staub, Gase, Lärm und Vibration groß. Diese Gefährdung und Belastung muss durch geeignete Verfahren, Hilfskonstruktionen und den Einsatz effektiver Werkzeuge minimiert werden.

Das Bauen mit Beton erlebt zur Zeit wieder einen regelrechten Aufschwung. Manche Beobachter sprechen davon, dass Beton der Stahl des einundzwanzigsten Jahrhunderts ist. Neue Rezepturen erlauben präzise Betone mit besonders feinen und eleganten Oberflächenstrukturen. Moderne Bearbeitungsmethoden bringen die Ästhetik des Betons zum Tragen. In dieser Arbeit geht es aber nicht um die Optik, sondern um die technische Seite der Bearbeitung.

Obwohl der moderne Beton immer weiter entwickelt wird, bleiben technische Regelwerke und Vorschriften zurück. Bis heute gibt es für die Betonbearbeitung oder Entschichtung keine vergleichbaren DIN-Vorschriften und Normen wie in der Metallbearbeitung. Teilweise existieren veraltete Grenzwerte und auch unterschiedliche Normen (beispielsweise Straßenbau, Eisenbahnbau). Es wird nach Regelwerken gearbeitet, die nicht mehr gültig sind, aber trotzdem breite Anwendung finden.

In dieser Arbeit soll zunächst der Baustoff Beton betrachtet werden. Es wird auf Stahlbeton, Betonschäden und beschichteten Beton eingegangen. Darauf aufbauend werden Instandsetzungsmaßnahmen betrachtet, die spanende Verfahren beinhalten. Im Abschnitt 3 werden die spanenden Verfahren Fräsen und Schleifen analysiert. Das Zusammenspiel der Geometrien, der spanenden Bearbeitung des beschichteten Betons und die Lagerung von Treibstoffen ziehen verschiedene Probleme nach sich. Es müssen die Arbeitsschutzgesetze betrachtet werden. Toxische Gase, welche sich im Beton festgesetzt haben, die Staubentwicklung in geschlossenen Räumen und auch teilweise die Überkopfarbeit sind Probleme, denen die Arbeiter über einen langen Bearbeitungszeitraum hinweg ausgesetzt sind.

Das Beurteilen der Oberflächen mittels unterschiedlicher Prüfverfahren und weitere Bewertungskriterien werden im Abschnitt 4 und 5 untersucht und behandelt.

## 2. Beton

Der Baustoff Beton ist ein Gemisch aus verschiedenen Bestandteilen. Nach der Norm DIN 1045 („Beton und Stahlbeton – Bemessung und Ausführung“) wird Beton aus Zement, Betonzuschlag und Wasser hergestellt.<sup>1</sup> Aber es können auch Betonzusatzstoffe oder Betonzusatzmittel beigemischt werden.

Die Eigenschaften des Betons sind von den Eigenschaften seiner Mischteile und den Mischungsverhältnissen abhängig. Das bedeutet, dass bei einer Analyse des Betons die Eigenschaften des Zementsteins, die Eigenschaften des Zuschlags, die Haftung und das Zusammenwirken dieser Teile betrachtet werden müssen.

Der Zement wirkt als Bindemittel der einzelnen Zuschlagsteile. Infolge einer chemischen Reaktion, bei einer Verbindung durch Anrühren mit dem Anmachwasser, erstarrt beziehungsweise erhärtet sich dieser. Die Festigkeit entsteht durch die Auskristallisation von Klinkerbestandteilen des Zements, wobei sich Kristallnadeln fest ineinander verhaken und verzahnen. Dieser Vorgang ist irreversibel, was auch eine gute Widerstandskraft gegen hohe Wassereinwirkung nach sich zieht.

Nach 28 Tagen hat sich unter normalen Temperatur- und Feuchtigkeitsbedingungen die Normfestigkeit eingestellt.

Betonzuschläge sind Gesteinskörnungen, wobei auch Farbstoffe und Ähnliches aus optischen Gründen zusätzlich beigemischt werden können. Nach DIN 4226 bestehen „Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel“ aus:

- Teil 1: Normale und schwere Gesteinskörnungen
- Teil 2: Leichte Gesteinskörnungen (Leichtzuschläge)
- Teil 100: Rezyklierte Gesteinskörnungen<sup>2</sup>

Die Zuschlagskörner müssen so fest sein, dass die erforderliche Festigkeit des Betons ermöglicht wird. Ebenfalls wird durch den Zuschlag auch die Dichtigkeit des Gefüges (dichtes/poriges Gefüge) bestimmt.

Das Mischungsverhältnis von Zement und Wasser ist ebenfalls von immenser Bedeutung. Es muss eine ausreichende Wassermenge zur Umwandlung aller Zementkörner in Zementgestein vorhanden sein.

---

<sup>1</sup> Schutz und Instandsetzen von Bauteilen. URL: <<http://www.bauwerksinstandsetzung.de/inhalte/pdf/instands-betonbauteile1.pdf>>, verfügbar am 12.03.2013

<sup>2</sup> Norm DIN 4226-100:2002-02: Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel

„Die ideale Wassermenge wäre 40 % des Zementgewichts, denn ca. 25 % werden chemisch beim Aufbau der Mikrokristalle gebunden und weitere 15 % werden in sehr feinen Mikroporen des entstandenen Zementsteins eingeschlossen (physikalisch gebunden).“<sup>3</sup>

Das Mischungsverhältnis von Wasser und Zement wird mit dem w/z-Wert beschrieben. Bei einer Wassermenge von 40 Prozent des Zementgewichtes beträgt der w/z-Wert:

$$w/z - Wert = 0,4$$

Bei einem w/z-Wert über 0,4

$$w/z - Wert > 0,4$$

können Wasserinseln im Gefüge vorkommen oder es können sich zusätzliche Poren im Gefüge nach Verdunsten des Wassers bilden.

Bei einem w/z-Wert unter 0,4

$$w/z - Wert < 0,4$$

kann keine vollständige Hydratation erfolgen, was eine schwere Verarbeitbarkeit nach sich zieht oder sie sogar ausschließt.

Durch Zugabe von Zusatzstoffen oder Zusatzmitteln können Betoneigenschaften beeinflusst oder geändert werden.

Zu den wichtigsten Eigenschaften und Anforderungen von Beton gehören Wasserundurchlässigkeit, hoher Frostwiderstand, hoher Tausalzwiderstand, hoher Verschleißwiderstand und hoher Widerstand gegen chemische Angriffe.<sup>4</sup>

Die wichtigsten Qualitätskriterien sind die Festigkeit und Porosität. Beton zeichnet sich durch seine hohe Druckfestigkeit von bis zu 40 N/mm<sup>2</sup> aus. Allerdings hat der Baustoff nur sehr geringe Zugfestigkeiten von unter 4 N/mm<sup>2</sup>, welche durch das Einbauen von Stahl beeinflusst werden können. Näheres dazu im nächsten Abschnitt.

Die Porosität ist abhängig von den Gesteinskörnungen. Das Porensystem des Betons ist unter normalen klimatischen Verhältnissen stets mit einer wässrigen oder gelartigen Phase gefüllt. Dadurch wird ein Eindringen von Wasser oder in Wasser gelösten Salzen verhindert. Es ist also eine Art Barriere, ein selbst entstehendes Schutzsystem des Betons.

---

<sup>3</sup> Schutz und Instandsetzen von Bauteilen. URL: <<http://www.bauwerksinstandsetzung.de/inhalte/pdf/instands-betonbauteile1.pdf>>, verfügbar am 12.03.2013

<sup>4</sup> Ebd.

## 2.1. Stahlbeton

Von großer wirtschaftlicher Relevanz ist Stahlbeton. Er besteht aus Beton und Stahl beziehungsweise Bewehrungsstahl. Stahl kann im Gegensatz zu Beton hohe Zugfestigkeiten aufnehmen. Bei Bauteilen müssen auf Zug beanspruchte Stellen mittels Stahl verstärkt werden, um die hohen Beanspruchungskräfte aufzunehmen.

Bei Stahlbeton ist ein wichtiger Aspekt die Korrosion der verbauten Stahlbewährung.

Der Beton verleiht dem eingebetteten Stahl einen ausreichenden Korrosionsschutz. Der Baustoff hat einen ausreichenden Diffusionswiderstand, der ein physikalisches Hindernis gegen das Eindringen von korrosionsstimulierenden Gasen oder Stoffen ist. Das trifft allerdings nur zu, wenn der Beton vorschriftsmäßig verarbeitet wurde. Ist dies der Fall, können Wasser, in Wasser gelöste Salze, Luft oder auch Schadgase nicht in den Beton eindringen, da die in den Poren befindliche Phase dieses verhindert.

In den Poren befindet sich eine gesättigte Calcium-Hydroxid-Lösung, die durch die alkalische Reaktion bei der Hydratation (chemische Reaktion, bei der Wasser und Zement miteinander reagieren und Zementgestein entsteht) gebildet wird. Diese Calcium-Hydroxid-Lösung ist stark basisch. Das heißt, es liegt ein hoher pH-Wert vor. Diese Lösung wirkt wie eine Art Schutzschicht, die sich um den metallischen Werkstoff legt und eine Korrosion verhindert. Dieser Zustand wird Passivierung genannt.

## 2.2. Betonschäden

Betonschäden können verschiedene Ursachen haben. Es können Ausführungs- und Materialfehler oder Planungsfehler vorliegen.

Die Schadensursachen können in verschiedene Gruppen eingestuft werden.



**Tabelle 1: Schadensursachen**

<b>Schadensursachen</b>	
die <b>vor</b> der Fertigstellung des Bauteils einwirken:	die <b>nach</b> der Fertigstellung des Bauteils einwirken:
<ul style="list-style-type: none"> <li>Planungs- und Konstruktionsfehler (z.B. Verwendung von Mindestmaßen anstatt Nennmaße; falsche Lastannahmen, mangelnde Baugrunduntersuchen, etc.)</li> <li>betontechnologische Ursachen (z.B. falsche Betonzusammensetzung)</li> <li>Verarbeitungs- und Einbaumängel (z.B. falscher Einbau des Betons, falsche Nachbehandlung, vorschriftswidrige Veränderung des w/z-Wertes, etc.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Umwelteinflüsse (Temperaturwechselbeanspruchungen, Frostbeanspruchungen, Frost-Tausalz-Beanspruchungen)</li> <li>außerplanmäßige Belastungen (Brand, Schwingungen, Explosionen, etc.)</li> </ul>

Quelle: In Anlehnung an: Dipl. Ing. Glatz, Paul; Dipl. Ing. Rummel, Michael; Peiniger RöRo GmbH  
 Leverkusen: Moderne Verfahren der Oberflächenvorbehandlung. In: Korrosionsschutz – Seminar 2004, S. 5

In der Regel ist ein vorliegender Schaden nicht eindeutig einer Schadensursache zuzuordnen. Meist ist es eine Kombination aus verschiedenen Ursachen.

Die Fehler vor der Fertigstellung des Bauteils sind nur auslösende Faktoren. Sie ziehen die eigentliche Schädigung nach sich, die ausgelöst werden durch:

- korrodierenden Bewehrungsstahl
- treibende Betonkorrosion
- lösende Betonkorrosion
- Betonabplatzungen, Risse und Verbundschwächungen<sup>5</sup>

Betonkorrosion ist die häufige und geläufige Bezeichnung für die Schädigung des Betons. Der Begriff beschreibt die Zerstörung des Stahlbetons durch die bereits erwähnten Ursachen.

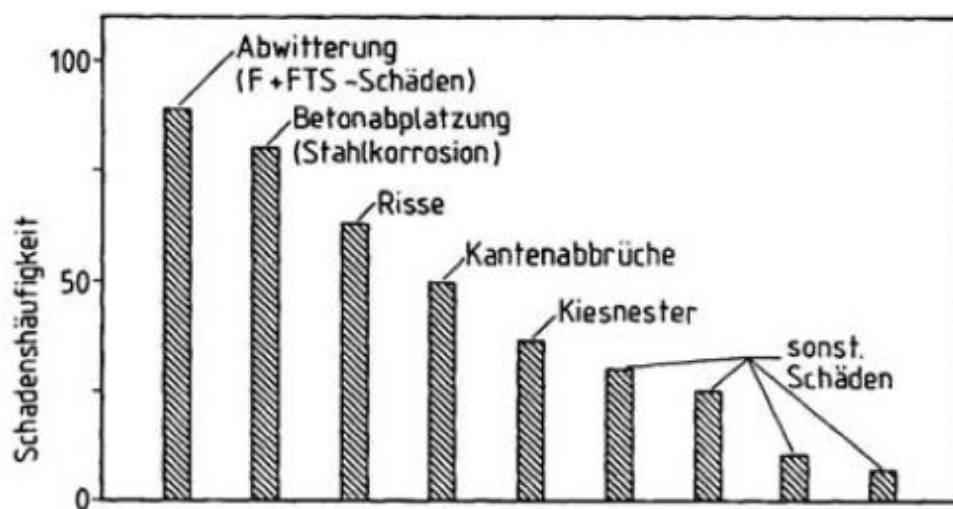
<sup>5</sup> Dipl. Ing. Glatz, Paul; Dipl. Ing. Rummel, Michael; Peiniger RöRo GmbH Leverkusen: Moderne Verfahren der Oberflächenvorbehandlung. In: Korrosionsschutz – Seminar 2004, S. 5-6

Typische Schadensbilder können sein:

- Verfärbungen, Verschmutzungen
- Rostfahnen
- Absanden der Oberfläche
- Risse
- Ausblühungen
- Kiesnester
- Hohlstellen
- Abplatzungen
- Kantenabbrüche
- Zerstörung von Bauteilen<sup>6</sup>

Die folgende Abbildung zeigt die durchschnittliche Verteilung der Schadensbilder bei Betonbauteilen.

**Abbildung I: Häufigkeit von Schäden bei Stahlbetonbauteilen**



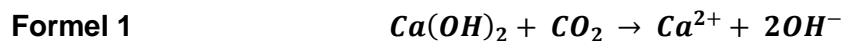
Quelle: Ebner, M.; Sparowitz, L.: Konzepte der Betonerhaltung. URL:  
 <[http://elearningblog.tugraz.at/scms/data/alt/publication/02\\_Lamellenverst.pdf](http://elearningblog.tugraz.at/scms/data/alt/publication/02_Lamellenverst.pdf)>, verfügbar am 26.08.2013

Um Schäden zu verhindern, sollte stets eine vorschriftsmäßige Verarbeitung und Nachbearbeitung des Betons erfolgen.

<sup>6</sup> Dipl. Ing. Glatz, Paul; Dipl. Ing. Rummel, Michael; Peiniger RöRo GmbH Leverkusen: Moderne Verfahren der Oberflächenvorbehandlung. In: Korrosionsschutz – Seminar 2004, S. 20

Wie bereits bei Abschnitt 2.1. erwähnt, ist der Bewehrungsstahl bei einem vorschriftsmäßig verarbeiteten Beton, einem „gesunden“ Beton, in einem stark alkalischen Milieu eingebettet und bildet eine Passivierungsschicht, die den Stahl vor Korrosion schützt. Dieser Korrosionsschutz wirkt genau so lange, bis die Schutzschicht depassiviert wird. Eine Depassivierung kann durch verschiedene Faktoren ausgelöst werden. Sie kann zum einen durch das Eindringen von Schadgasen oder Chloriden ausgelöst werden oder zum anderen durch den Vorgang der Karbonatisierung.

Die Karbonatisierung beschreibt den Vorgang der chemischen Umwandlung beziehungsweise des Abbaus der im Beton vorhandenen alkalischen Bestandteile durch Kohlenstoffdioxid. Bei der Verbindung der alkalischen Base Calcium-Hydroxid-Lösung und des in der Luft enthaltenen Kohlenstoffdioxid werden Kalkstein und Wasser gebildet.



Bei der ersten Teilreaktion wird Calcium-Hydroxid bei einer Verbindung mit Kohlenstoffdioxid in Calcium-Ionen und Hydroxid-Ionen aufgespalten. Parallel dazu verläuft die zweite Teilreaktion, bei der Kohlenstoffdioxid mit Wasser Kohlensäure ausbildet. Die gebildete Kohlensäure führt zu einer Neutralisation der alkalischen Calcium-Hydroxid-Lösung und infolgedessen zu einer Bildung von Wasser und Kalkstein.

Durch den Abbau der Alkalität beziehungsweise durch die Neutralisation des basischen Milieus in den Poren wird die Schutzschicht depassiviert und somit verliert der Bewehrungsstahl seinen Korrosionsschutz.

Aufgrund des infolge der chemischen Reaktion gebildeten Kalksteins kommt es zu einer Verdichtung des Betongefüges, was zu einer Erhöhung der Betonfestigkeit führt. Diese Erhöhung der Dichte führt wiederum zu einer Reduzierung des weiter fortschreitenden Karbonatisierungsprozesses. Das bedeutet, es wird immer wieder eine neue Barriere gegen das Eindringen von schadensverursachenden Faktoren gebildet.

## 2.3. Beschichteter Beton

Da man sich nicht nur auf den Selbstschutz des Betons verlässt, werden Betonoberflächen teilweise mit Beschichtungen, Estrichen oder beidem versehen. Dafür müssen die Oberflächen speziell bearbeitet und vorbereitet werden. Kein Beschichtungsuntergrund ist so gut, dass er nicht durch eine gründliche Vorbehandlung noch verbessert werden kann.

Die Sicherheit des Betonschutzes hängt im Wesentlichen von der Art und der Intensität der Untergrundvorbereitung, sowie von der sorgfältigen und fachgerechten Folgebehandlung ab.<sup>7</sup>

Beschichtungen sind flüssige Werkstoffe mit Kunststoffen als Bindemittel, die nachträglich auf die jeweilige Tragschicht aufgetragen werden.<sup>8</sup> Von Bedeutung ist der feste Verbund von Boden und Beschichtung. Dies kann mittels verschiedener Verfahren, zum Beispiel die Haftzugsprüfung, untersucht und getestet werden.

Das Verwenden von Beschichtungen erfolgt in erster Linie zum Schutz. Die bei den Beschichtungen verwendeten Kunststoffe können zum einen Epoxidharze und zum anderen Polyurethane sein.

Es kann der Fall vorliegen, dass die verwendeten Beschichtungen falsch verarbeitet, falsch aufgebracht oder einfach abgenutzt und defekt sind. Das bedeutet, dass der Schutz nicht mehr gewährleistet werden kann und der Beton bis in tiefere Schichten kontaminiert wird.

Wenn die Epoxidharzbeschichtung semipermeabel ist, können Gase und ähnlich schädliche Stoffe eindringen und zu einer Blasenbildung zwischen Beton und Schutzsystem führen, was ein Abplatzen der Beschichtung nach sich ziehen kann.

### **2.3.1. Epoxidharz**

Epoxidharze sind Polymere. Die Ausbildung erfolgt so langsam, dass man sie als zähe Flüssigkeiten verarbeiten kann. Mittels eines Härters, zum Beispiel durch Amine, und gegebenenfalls durch Zusatzstoffe bildet sich unter Kalt- und Warmhärtung ein stabiler und chemikalienbeständiger Kunststoff aus.

Epoxidharze werden hauptsächlich aus Bisphenol A und Epichloriden synthetisiert. Durch das Aushärten mittels Aminen entstehen Duroplaste, die Epoxidharze genannt werden. Die gute Haftung, der geringe Schwund beim Aushärten und das Fehlen von Spannungsrissbildung macht den Kunststoff zu einem guten Gießharz. Ebenfalls werden Epoxidharze häufig für Beschichtungen und Lacke verwendet.

---

<sup>7</sup> Bauschutz GmbH. Brückensanierung: Betonbrücken. Stahlbrücken

<sup>8</sup> Allgemeine Hinweise zu Megaplast Bodenbeschichtungssysteme. URL: <[http://www.megaplast-bauchemie.de/\\_srv.write/assets/Download-Allgemein/Kapitel\\_01\\_Allgemeine\\_Hinweise.pdf](http://www.megaplast-bauchemie.de/_srv.write/assets/Download-Allgemein/Kapitel_01_Allgemeine_Hinweise.pdf)> S. 8, verfügbar am 12.03.2013

Aufgrund der langsamen Polymerisation und der damit verbundenen zähflüssigen Phase, wird Epoxidharz auch häufig als Klebstoff verwendet. Das Harz wird flüssig aufgetragen und verbindet nach dem Aushärten andere Kunststoffteile, aber auch Metall und Beton.

Warm gehärtete Epoxidharze haben bessere mechanische, thermische, chemische und elektrische Eigenschaften als kalt gehärtete Epoxidharze. Die Chemikalienbeständigkeit ist allerdings vom Härter abhängig. Die beste Alkalienbeständigkeit besteht bei Amin-gehärteten Epoxidharzen. Die beste Lösungsmittelbeständigkeit wird durch aromatische Amine und Säure- und Witterungsbeständigkeit durch anhydridische Härtung erreicht. Allerdings sind Epoxidharze nicht gegen starke Säuren und Laugen, Ammoniak, Aceton und Ester beständig.<sup>9</sup>

### 2.3.2. Polyurethan

Polyurethane sind Kunststoffe, die aus Diisocyanaten und Diolen synthetisiert werden. Sie werden kalt verarbeitet und erwärmen sich beim Härten nur wenig. Aufgrund der geringen Volumenkontraktion beim Aushärten werden Polyurethane, ähnlich wie Epoxidharze, gern als Gießharze verwendet. Ebenfalls dienen sie als Beschichtungen von Böden und Ähnlichem. Sie können je nach Herstellung hart und spröde, aber auch weich und elastisch sein. Diese Vielseitigkeit macht Polyurethan zu einem echten Allrounder.

Polyurethan-Beschichtungen, auch als PU-Beschichtungen bezeichnet, weisen eine hohe Chemikalienbeständigkeit auf. Ebenfalls besitzen sie eine Resistenz gegen schwache Säuren und Laugen, mineralische Fette, Öle und aliphatische Kohlenwasserstoffe. Leider sind Polyurethane nicht gegen starke Säuren und Laugen, Aromate und Alkohole beständig.

Vorteile von Polyurethan sind:

- hohe Elastizität
- sehr robuste Oberfläche
- rutschfeste Oberfläche
- wirkt antistatisch
- sehr hitzebeständig
- Benzin-resistent<sup>10</sup>

---

<sup>9</sup> Epoxidharze. URL: <<http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/9/mac/stufen/polyaddition/epoxide/epoxidharz.vlu/Page/vsc/de/ch/9/mac/stufen/polyaddition/epoxide/epoxeigen.vscml.html>>, verfügbar am 13.09.2013

<sup>10</sup> Polyurethanbeschichtungen. URL: <<http://www.polyurethanbeschichtung.com/pu-grundlagen/vorteile.html>>, verfügbar am 13.09.2013

## 2.4. Instandsetzungsmaßnahmen von Betonbauteilen

Geschädigter Beton muss instandgesetzt werden. Um die in Punkt 2.2. genannten Schadensbilder zu beheben, muss zunächst entschieden werden, ob der Beton gereinigt und anschließend mittels Beschichtungen geschützt werden muss. Dies allein reicht allerdings nicht immer aus. Es kann auch der Fall sein, dass der komplette Untergrund vorbehandelt und anschließend ausgebessert werden oder bis zu einer bestimmten Tiefe abgetragen und anschließend wieder ergänzt werden muss.

Diese Entscheidung ist eine Grundvoraussetzung für die weitere Planung von Instandsetzungsmaßnahmen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten Beton und deren Beschichtungen abzutragen. Wichtig ist, dass man stets nur so viel wie nötig und so wenig wie möglich abträgt. Eine intakte Oberfläche soll also so wenig, eine zerstörte Oberfläche so schonend wie möglich entfernt werden. Das ist ein sehr wichtiges Prinzip, um die Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten und Instandsetzungen langlebig zu realisieren.

In der folgenden Tabelle sind Grundaufgaben und die dazugehörigen Verfahren übersichtlich dargestellt.

**Tabelle 2: Instandsetzungsmaßnahmen und dazugehörige Verfahren**

Grundaufgaben bzw. Instandsetzungsmaßnahmen	Verfahren
Reinigen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schleifen</li> <li>• Polieren</li> <li>• Kugelstrahlen</li> <li>• Sandstrahlen</li> </ul>
Entschichten	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schälen</li> <li>• Stemmen</li> <li>• Fräsen</li> <li>• Schleifen</li> </ul>
Profilieren	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fräsen</li> <li>• Schleifen</li> <li>• Kugelstrahlen</li> <li>• Sandstrahlen</li> <li>• Stocken</li> </ul>

Quelle: Eigene Darstellung

Jedes Bearbeitungsverfahren schließt spezielle Maschinen mit ein. Für waagerechte Flächen werden Maschinen in unterschiedlichen Größen eingesetzt, die den Anforderungen entsprechend ausgewählt werden können. Für Arbeiten in geschlossenen Behältern beziehungsweise Bauwerken fehlen maschinelle Lösungen für vertikale Flächen, die effektiv, kostengünstig, Bediener- und umweltfreundlich sind.

Flamm- und Sandstrahlen, auch Wasserstrahlen, finden an solchen Flächen nur begrenzt Anwendung. Hier überwiegen die Nachteile oder scheiden aus, wie beispielsweise das Flammstrahlen, aufgrund der Explosionsgefahr im Tank. Es ist auch nicht möglich, größere Kugelstrahltechnik in die geschlossenen Tanks zu befördern. Alles muss durch die geringe Einbringöffnung passen.

Optimale Instandsetzungsmaßnahmen sind also solche, die mit leichteren Maschinen und wirksamen Werkzeugen, sowohl an Decken, Wänden und Böden, unter Einsatz geeigneter Hilfskonstruktionen, ausgeführt werden können. Daher wird sich in den weiteren Abschnitten nur auf Fräsen und Schleifen konzentriert. Hier existieren anpassungsfähige Maschinenkonstruktionen mit großen Reserven bei der Optimierung der Werkzeuge.

### 3. Fertigungsverfahren

Da sich das Thema dieser Arbeit auf das Fräsen und Schleifen bezieht, ist zunächst eine Einordnung dieser beiden Verfahren notwendig.

Fertigungsverfahren und deren Begrifflichkeiten sind in der DIN 8580 genormt. Darin erfolgt eine Einteilung in Hauptgruppen, Gruppen und Untergruppen.

**Tabelle 3: Hauptgruppen der Fertigungsverfahren**

Hauptgruppe	Verfahren	Bedeutung
1	Urformen	Fertigen eines festen Körpers aus formlosen Stoff durch Schaffen des Zusammenhaltes; hierbei treten die Stoffeigenschaften des Werkstückes bestimmbar in Erscheinung
2	Umformen	Fertigen durch bildsames (plastisches) Ändern der Form eines festen Körpers; dabei werden sowohl die Masse als auch der Zusammenhalt beibehalten
3	Trennen	Fertigen durch Aufheben des Zusammenhaltens von Körpern, wobei der Zusammenhalt teilweise oder im Ganzen vermindert wird
4	Fügen	Auf Dauer angelegtes Verbinden oder sonstiges Zusammenbringen von zwei oder mehreren Werkstücken geometrisch bestimmter fester Form oder von eben solchen Werkstücken mit formlosen Stoff; dabei wird der Zusammenhalt örtlich geschaffen und im Ganzen vermehrt
5	Beschichten	Fertigen durch Aufbringen einer fest haftenden Schicht aus formlosen Stoff auf ein Werkstück; maßgebend ist der unmittelbar vor dem Beschichten herrschende Zustand des Beschichtungsstoffes



6	Stoffeigenschaft ändern	Fertigen durch Verändern der Eigenschaften des Werkstoffes, aus dem ein Werkstück besteht; dies geschieht u.a. durch Veränderung submikroskopischen bzw. atomaren Bereich, z.B. durch Diffusion von Atomen, Erzeugung und Bewegung von Versetzungen im Atomgitter
---	-------------------------	---

Quelle: In Anlehnung an: DIN 8580:2003-09, S.4-5

Nun wird näher auf die Hauptgruppe 3 eingegangen. Diese wird in der nachfolgenden Tabelle gemäß DIN 8589 nochmals unterteilt.

**Tabelle 4: Unterteilung der Hauptgruppe Trennen**

<b>Hauptgruppe 3 Trennen</b>						
Zerteilen	Spanen mit geometrisch bestimmter Schneide	Spanen mit geometrisch unbestimmter Schneide	Abtragen DIN 8590	Zerlegen	Reinigen	Evakuieren
Gruppe 3.1.	Gruppe 3.2.	Gruppe 3.3.	Gruppe 3.4.	Gruppe 3.5.	Gruppe 3.6.	Gruppe 3.7.

Quelle: Perovic, Bozina: Spanende und abtragende Fertigungsverfahren: Grundlagen und Berechnungen. – Expert Verlag, S. 14

Das Fräsen und Schleifen sind spanabtragende Verfahren und gehören zur Hauptgruppe Trennen. Wie man in Tabelle 3 sehen kann, muss zwischen Spanen mit geometrisch bestimmter und unbestimmter Schneide unterschieden werden.

**Tabelle 5: Unterteilung der Gruppe Spanen**

<b>Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden</b>								
Drehen DIN 8589	Bohren Senken Reiben DIN 8589	Fräsen DIN 8589	Hobeln Stoßen DIN 8589	Räumen DIN 8589	Sägen DIN 8589	Feilen Raspeln DIN 8589	Bürst- spanen DIN 8589	Scha- ben Meiß- eln DIN 8589
<b>Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden</b>								
Schleifen DIN 8589	Band - schleifen	Hubschleifen	Honen	Läppen	Strahlspanen	Gleitspanen		

Quelle: Perovic, Bozina: Spanende und abtragende Fertigungsverfahren: Grundlagen und Berechnungen. – Expert Verlag, S. 15

Unter anderem werden Oberflächen mittels Fräsen oder Schleifen mechanisch bearbeitet. Die eben aufgeführten Tabellen haben diese Fertigungsverfahren mittels DIN-Vorschriften eingeordnet. In den folgenden Abschnitten werden die hier behandelten Fertigungsverfahren näher betrachtet.

## **3.1. Fräsen**

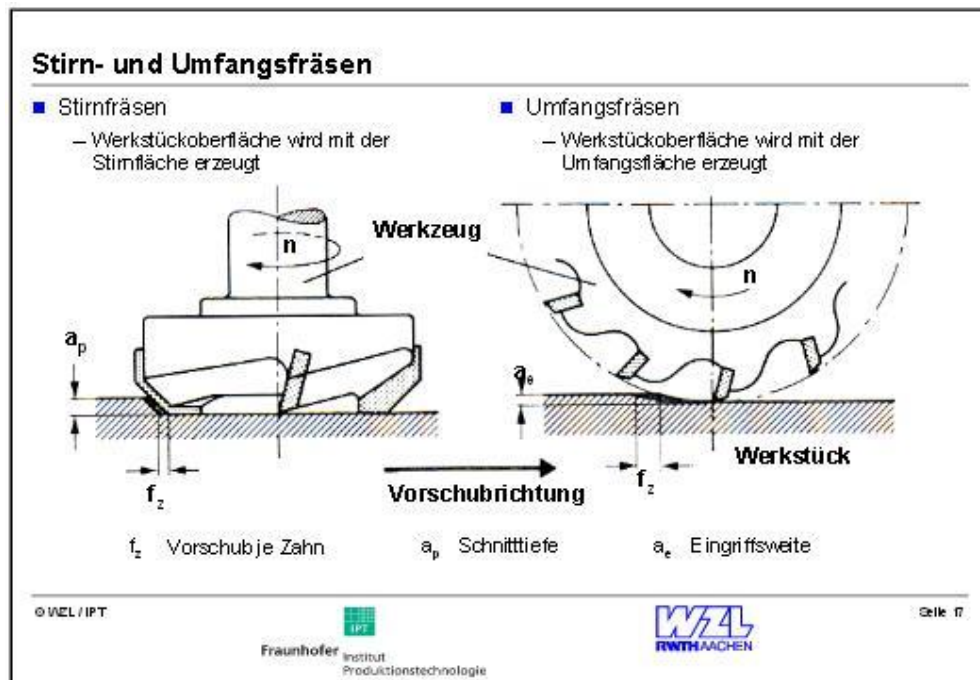
### **3.1.1. Allgemeines**

Sollen bei einem Betonboden Beschichtungen entfernt, Oberflächen aufgeraut oder der komplette Boden für Beschichtungsarbeiten vorbereitet werden, kommt das Fräsen zum Einsatz. Es erzielt einen schnellen und intensiven Abtrag, welcher je nach Werkzeug und Anzahl der Fräsübergänge Millimeter- bis Zentimeterbereiche umfassen kann.

Es gibt unterschiedliche Arten von Fräsmaschinen mit unterschiedlichen Wirkungsweisen. Die zur Spanabhebung benötigte Schnittbewegung erfolgt allerdings immer durch die Rotation des Schneidwerkzeuges.

Das Fräsen wird in Stirn- und Umfangsfräsen unterteilt. Beim Stirnfräsen ist der Fräser an der Stirnseite mit Schneiden versehen. Beim Umfangsfräsen ist der Fräser an seinem Umfang mit Schneiden versehen.<sup>11</sup>

**Abbildung II: Stirn- und Umfangsfräsen**



Quelle: Prof. Dr. - Ing. F. Klocke: Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneiden-Teil 1. URL: [www.wzl.rwth-aachen.de/de/629c52491e476b86c1256f580026aef2/fti\\_v07\\_verfahren\\_definierte\\_schneide.pdf](http://www.wzl.rwth-aachen.de/de/629c52491e476b86c1256f580026aef2/fti_v07_verfahren_definierte_schneide.pdf), verfügbar am 03.05.2013

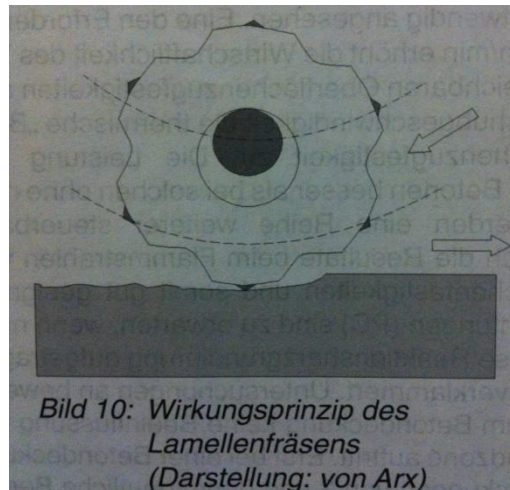
Da bei der Bearbeitung von Beton nicht nur Schichten abgetragen, sondern auch ebene Flächen erzeugt werden sollen, kommt das Planfräsen zum Einsatz.

Die Fräsmaschinen, die größtenteils bei der Bearbeitung von Beton zum Einsatz kommen, sind allesamt Umfangsfräsen, die mit hartmetallbestückten Fräslamellen arbeiten. Das Prinzip solcher Fräsen beruht auf den lose auf den Achsen sitzenden Fräswerkzeugen. Durch die Rotation des Fräskorbes entsteht an den Querwalzen eine Fliehkraft, wodurch die Werkzeuge ausgeworfen werden und auf die zu behandelnde Oberfläche schlagen, was einen Abtrag der zerstörten und/oder verschmutzten Schichten zur Folge hat.<sup>12</sup>

<sup>11</sup> Perovic, Bozina: Spanende und abtragende Fertigungsverfahren: Grundlagen und Berechnungen. –Expert Verlag, S. 79

<sup>12</sup> Betriebsanleitung Blastrac BMP-EHY 320. Stand C1/2001

### Abbildung III: Wirkprinzip Lamellenfräsen



Quelle: Prof. Dr. - Ing. R.-R. Schulz: Untergrundbearbeitung und -prüfung - REWI Verlag - Kempten, S. 14

Das Verfahren wird vor allem zum Aufräumen und Reinigen von Betonböden, sowie zum Glätten von Oberflächen, eingesetzt. Es ist zu beachten, dass das Betongefüge je nach Lamellentyp hohe Schlagbeanspruchungen erfährt, die die Oberflächenzugfestigkeit um bis zu 20 Prozent herabsetzen können.<sup>13</sup>

### 3.1.2. Einflussfaktoren

Es gibt unterschiedliche Einflussfaktoren, um größere oder kleinere Teile abzutragen und unterschiedliche Fräsbilder zu erzeugen.

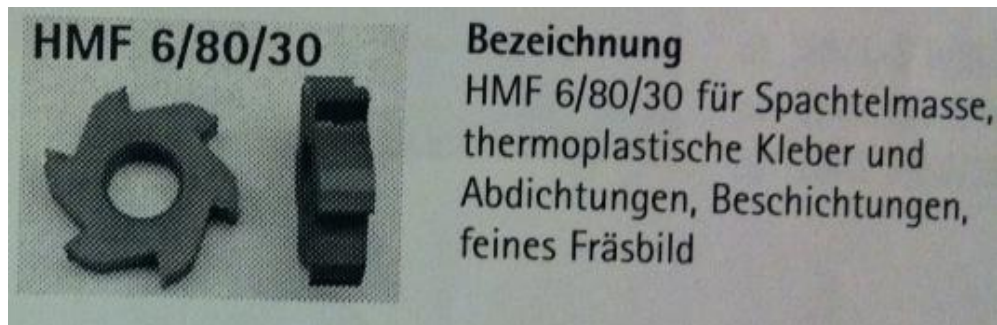
#### 3.1.2.1. Fräslamellen

Auf einem rotierenden Fräskorb befinden sich je nach Bauart und Baugröße zwischen vier und sechs Achsen, auf denen die frei rotierenden Fräslamellen sitzen. Diese Fräslamellen haben entscheidenden Einfluss auf das Fräsbild. Sie haben verschiedene Größen und Durchmesser und besitzen eine unterschiedliche Anzahl von Hartmetallspitzen. Sie müssen stets mit der Fräsmaschine und dem Fräskorb abgestimmt werden, um die Wirtschaftlichkeit zu gewährleisten.

<sup>13</sup> Prof. Dr. - Ing. R.-R. Schulz: Untergrundbearbeitung und -prüfung - REWI Verlag - Kempten

Die Breite der Fräslamellen muss auf jede Anforderung angepasst werden. Je schmaler sie ist, umso aggressiver wirkt sie, da ein tieferes Eindringen möglich ist. Breitere Fräslamellen werden hingegen bei elastischen und halbelastischen Beschichtungen eingesetzt.

**Abbildung IV: Breite Fräslamelle**



Quelle: FRÜH maschinen. Maschinen & Zubehör zur Fussbodenbearbeitung und Untergrundvorbereitung:  
Frästrommel + Werkzeuge RT 320/3200 + RM 320

Um das Fräsbild zu variieren, besitzen die Lamellen eine unterschiedliche Anzahl von Hartmetallspitzen. Abbildung V zeigt drei verschiedene Modelle der Firma FRÜH Maschinen mit dem jeweiligen Anwendungsbereich.

**Abbildung V: Verschiedene Fräslamellen**



Quelle: FRÜH maschinen. Maschinen & Zubehör zur Fussbodenbearbeitung und Untergrundvorbereitung:  
Frästrommel + Werkzeuge RT 320/3200 + RM 320

Ebenfalls spielt die Anordnung der Fräslamellen eine entscheidende Rolle. Sie werden mit Zwischenscheiben auf den Wellen des Fräskorbes angeordnet. Man kann sie sehr nah aneinander anordnen, um enge Fräsbahnen zu erzeugen. Falls man ein grobes Fräsbild möchte, sollte man mehr Platz zwischen den Fräslamellen lassen und mehr Zwischenscheiben einbauen. Da der Fräskorb aus mehreren Wellen besteht, muss darauf geachtet werden, dass die Fräslamellen immer versetzt angeordnet sind. Sonst entstehen nur sehr tiefe Fräsrillen und es erfolgt kein Abtrag in der gesamten Arbeitsbreite. Abbildung VI zeigt eine Standardfrästrommel mit Bestückung.

**Abbildung VI: Frästrommel**



Quelle: FRÜH maschinen. Maschinen & Zubehör zur Fussbodenbearbeitung und Untergrundvorbereitung:  
Frästrommel + Werkzeuge RT 320/3200 + RM 320

### **3.1.2.2. Vorschub**

Bei den meisten Fräsmaschinen kann man die Vorschubgeschwindigkeit regulieren. Für einen intensiveren Abtrag sollte mit geringer Vorschubgeschwindigkeit von fünf bis acht Metern pro Minute gearbeitet werden. Falls man nur oberflächlich fräsen möchte, sollte eine schnellere Vorschubgeschwindigkeit gewählt werden.

Der Abtrag kann ebenfalls erhöht werden, wenn mehrere Arbeitsgänge des Gleichgangfräsens vollzogen werden. Andernfalls kann auch das Kreuzfräsen einen erhöhten Abtrag erzielen.

### **3.1.2.3. Tiefeneinstellung**

Eine frei wählbare Tiefeneinstellung des Fräskorbes ist von immenser Wichtigkeit. Der Fräskorb muss in der Höhe so eingestellt werden, dass die Fräswerkzeuge mit ausreichender Tiefe in den Beton greifen können und der gewünschte Effekt erzielt werden kann. Ist der Abstand zum Boden zu groß, können die Fräslamellen ihre Arbeit nicht verrichten. Wird der Fräskorb zu tief eingestellt, wird die Schlagkraft der Fräslamellen vermindert. Eine höhere Tiefeneinstellung erhöht also nicht den Abtrag der Betonschichten. Es kann sogar zu einem höheren Verschleiß der Maschine führen, da die Maschinenlager und die Trommelwellen übermäßig belastet werden.

## **3.2. Schleifen**

Das Fräsen stößt bei manchen Beschichtungen, beispielsweise bei elastischen Beschichtungen, an seine Grenzen. Die Fräslamellen können nicht in den Boden eindringen, um einen Abtrag zu erzielen. Durch den elastischen Anteil können die Fräslamellen die schlagende Wirkung nicht nutzen und werden abgestoßen, ohne einen Spanabtrag zu erzielen. In diesen Fällen wird das Schleifen genutzt. Durch die große Härte der Diamantwerkzeuge kann nahezu jeder Stoff zerspannt werden. Hinzu kommt, dass der Abtrag durch Reibung zwischen dem Werkzeug und dem Werkstoff erzielt wird.

Das Schleifen gehört nach DIN 8580 zur Hauptgruppe Trennen. Das Zerspanen erfolgt im Gegensatz zum Fräsen mit geometrisch unbestimmter Schneide. Um Flächen zu bearbeiten und zu glätten, kommt das Planschleifen zum Einsatz.

Das Schleifen ist das geeignete Verfahren für einen sehr feinen Abtrag. Man kann ein feineres Oberflächenbild erzeugen. Es ist aber auch ein intensiver Abtrag möglich, da das Schleifen durch verschiedene Werkzeugaufsätze sehr vielseitig ist. Ausschlaggebend ist das Schleifmittel. Je nach Bearbeitungsziel muss das Schleifmittel folgende Anforderungen erfüllen:

- Große Härte beziehungsweise Schneidfähigkeit
- Große Zähigkeit
- Große Sprödigkeit
- Große Warmhärte
- Große chemische Beständigkeit<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> Perovic, Bozina: Spanende und abtragende Fertigungsverfahren: Grundlagen und Berechnungen. –Expert Verlag, S. 179

Die Härte des Schleifmittels muss stets höher als die des zu bearbeitenden Materials sein.

Von großer wirtschaftlicher Bedeutung ist das Diamantschleifen. Der Diamant ist im Moment das härteste in der Natur vorkommende Material. Daher sind alle Materialien mittels Diamanten bearbeitbar.

### **3.2.1. Schleifen mit monokristallinem Diamant**

Für Diamantschleifscheiben können natürliche und industriell hergestellte Diamanten verwendet werden. In der Natur vorkommende Diamanten können für die Schmuckindustrie genutzt werden. Diamanten, die für die Herstellung von Schmucksteinen und Ähnlichem unbrauchbar sind, zum Beispiel aufgrund von Verunreinigungen, werden für die Industrie, speziell für die Bearbeitung von Beton und Gesteinen, verwendet. Oftmals sind die Naturdiamanten allerdings zu rund, um sie für spanende Fertigungsverfahren zu verwenden. Daher werden die meisten Diamanten, die in der Industrie genutzt werden, künstlich hergestellt. Diese künstlich hergestellten monokristallinen Diamanten werden kurz als MKDs bezeichnet. Die Diamanten, ob Naturdiamant oder MKD, werden mit Hilfe eines Bindemittels gebunden und auf dem Schleifkörper aufgebracht. Die sogenannten Beläge können unterschiedliche Formen aufweisen und verschieden angeordnet werden.

Form, Beläge und deren Anordnung sind in der DIN ISO 6104 genormt. Allerdings können die Herstellerfirmen die Anordnung der Beläge aus Designgründen variieren. Folgendes Bild zeigt Formen des Grundkörpers einer Schleifscheibe.



# Abbildung VII: Formen der Grundkörper nach DIN ISO 6104

Tabelle 1 — Formen der Grundkörper

Grundkörper	Bezeichnung	Bild	Grundkörper	Bezeichnung	Bild
1	Gerade Schleifscheibe		10	Abgesetzter Schleifteller	
2	Schleifzylinder		11	Kegeliger Schleiftopf	
3	Abgesetzte Schleifscheibe		12	Kegeliger Schleiftopf	
4	Einseitig konische Schleifscheibe		13	Kegeliger Schleiftopf	
6	Einseitig ausgesparte Schleifscheibe		14	Doppel-abgesetzte Schleifscheibe	
9	Zweiseitig ausgesparte Schleifscheibe				—

Quelle: DIN ISO 6104:2005-08, S. 5

Abbildung 7 zeigt die Formen der Beläge.

# Abbildung VIII: Kennbuchstaben und Formen des Schleifbelags nach DIN ISO 6104

Tabelle 2 — Kennbuchstaben und Formen für den Schleifbelag

A	AA	B	BF
BH	BT	C	D
DD	E	EE	EF
EH	ET	F	FF
G	J	K	L
LL	M	Q	QV
R	S	U	V
VF	VL	VV	Y

ANMERKUNG Es sind die üblichen Formen abgebildet.

Quelle: DIN ISO 6104:2005-08, S. 6

Es sind ebenfalls die Anordnungen der Schleifbeläge auf dem Grundkörper genormt.

## Abbildung IX: Anordnung der Schleifbeläge nach DIN ISO 6104

Tabelle 3 — Anordnung des Schleifbelages auf dem Grundkörper

Kurzzeichen	Lage	Beschreibung	Form
1	Umfang	Der Schleifbelag befindet sich am Umfang des Grundkörpers und erstreckt sich über dessen volle Breite. Die axiale Länge dieses Belages kann größer, gleich oder kleiner sein als die Belagtiefe, die in radialer Sicht gemessen wird. Absätze in der Breite des Grundkörpers werden hierbei nicht berücksichtigt.	
2	eine Seite	Der Schleifbelag befindet sich auf einer Planfläche der Schleifscheibe und erstreckt sich vom Umfang zum Zentrum. Sie kann über die gesamte Planfläche gehen.	
3	beide Seiten	Der Schleifbelag befindet sich auf beiden Planflächen der Scheibe und erstreckt sich vom Umfang zum Zentrum. Sie kann über die gesamte Planfläche gehen.	
4	nach innen abfallend oder konkav	Diese Auslegung erfordert die Grundkörper 2, 6, 10, 11, 12 oder 13. Der Schleifbelag befindet sich auf einer Seitenfläche. Diese Fläche hat einen Winkel oder eine Krümmung von einem höheren Punkt am Schleifscheibenumfang zu einem niedrigeren Punkt in Richtung auf den Mittelpunkt der Schleifscheibe hin.	
5	nach außen abfallend oder konvex	Diese Auslegung erfordert die Grundkörper 2, 6 und 11. Der Schleifbelag befindet sich auf einer Seitenfläche. Diese Fläche hat einen Winkel aus einer Krümmung von einem niedrigeren Punkt am Schleifscheibenumfang zu einem höheren Punkt in Richtung auf den Mittelpunkt der Scheibe hin.	
6	Teil des Umfangs	Der Schleifbelag befindet sich am Umfang des Grundkörpers, erreicht aber nicht die Gesamthöhe der Schleifscheibe und auch nicht eine der beiden Planflächen des Grundkörpers.	
7	Teil der Seite	Der Schleifbelag befindet sich auf einer Planfläche des Grundkörpers, erreicht aber nicht dessen Umfang. Der Schleifbelag kann sich bis zum Mittelpunkt der Schleifscheibe erstrecken.	
8	voll durchsetzt	Es ist kein Grundkörper vorhanden, Schleifscheibe ist gleich Schleifbelag.	
9	äußerer Ring	Der Schleifbelag befindet sich auf der äußeren Umfangsfläche des Grundkörpers und erstreckt sich nicht über die Gesamthöhe der Schleifscheibe.	
10	innerer Ring	Der Schleifbelag befindet sich auf der inneren Umfangsfläche des Grundkörpers und erstreckt sich über die Gesamthöhe der Schleifscheibe.	

Quelle: DIN ISO 6104:2005-08, S. 7-8

Die Formen des Grundkörpers, die Beläge und deren Anordnung müssen für ein optimales Bearbeitungsergebnis des Betonbodens stets an die Ausgangsbedingungen und das Bearbeitungsziel angepasst werden.

Die Diamanten weisen in einer Schleifscheibe im Durchschnitt die gleiche Korngröße auf. Die Körnung wird so gewählt, dass der Boden optimal bearbeitet werden kann. Bei größerer Körnung wird ein aggressiverer Abtrag erzielt. Kleinere Körnungen haben eine geringere Abtragsleistung zur Folge und können für ein gewünscht feineres Schliffbild

verwendet werden. Je nach Einsatzgebiet und Werkzeuggröße haben sich in der Steinbearbeitung folgende Korngrößenstufen durchgesetzt:

• grob	20	-	45	US/mesh
• mittel	60	-	80	US/mesh
• fein	100	-	120	US/mesh
• sehr fein	über		120	US/mesh

Für den Hoch- und Tiefbau haben folgende Körnungen Gültigkeit:

• Korn 0	=	16	US/mesh
• Korn 1	=	20 - 25	US/mesh
• Korn 2	=	30 - 40	US/mesh
• Korn 3	=	80 - 100	US/mesh
• Korn 4	=	140 - 170	US/mesh
• Korn 5	=	200 - 230	US/mesh <sup>15</sup>

Um die Einheit US/mesh besser einordnen und vergleichen zu können, befindet sich im Anhang die Darstellung II: Umrechnungstabelle US/mesh in Millimeter.

Wie bereits erwähnt, werden die Diamanten mit bestimmter Körnung mittels eines Bindemittels in Form gebracht und als Belag auf der Schleifscheibe befestigt. Die Bindung ist entscheidend für die optimale Funktion eines Diamantwerkzeuges. Jedes Diamantkorn soll so lange gehalten werden, bis sein Standzeitende erreicht ist. Das heißt, Bindung und Diamant sollen gleich schnell verschleifen.

Das Bindemittel muss so gewählt werden, dass die Diamanten für den spanenden Abtrag frei gegeben werden. Nach einer gewissen Einsatzzeit splittert oder verlässt das Korn durch Ausbruch den Bindungsverband, sodass neue Schneiden beziehungsweise Körner zum Einsatz kommen können. Verschleißt die Bindung zu langsam, so sind viele stumpfe Körner auf dem Schneidbelag vorhanden. Wenn allerdings die Bindung zu schnell verschleißt, werden zu viele noch scharfe Körner aus dem Bindungsverband entlassen und die Standzeit des Diamantwerkzeuges ist zu gering.

Als Faustregel gilt: „Weicher Boden, hartes Bindemittel; harter Boden, weiches Bindemittel!“

Bei der Bearbeitung eines harten Bodens muss ein weicheres Bindemittel gewählt werden, da das Bindemittel schnell verschleifen muss. Das bedeutet, die Diamanten werden schneller frei gegeben und können die Späne abheben. Wenn der Verschleiß des Bindemittels soweit fortgeschritten ist und die Diamanten stumpf geworden sind, ist die Verbindung zwischen Diamant und Bindung so schwach, dass der Diamant sich aus der

---

<sup>15</sup> Schulungsunterlagen der Firma Altas Diamant Werkzeuge GmbH, Stand 2013

Bindung löst. Danach können neue, scharfe Diamanten nachkommen. Dies nennt man den Selbstschärfefeekt.

Bei einem weichen Boden werden die Diamanten nicht so schnell verschlissen, so dass sie länger auf der Schleifscheibe bleiben können. Daher ist ein hartes Bindemittel vorteilhafter, da dies die Diamanten länger festhält. Es wäre nicht wirtschaftlich, wenn noch scharfe Diamanten aus der Bindung raus brechen, weil diese zu schnell verschleißt und die Diamanten nicht lange genug festgehalten werden können.

### **3.2.2. Schleifen mit polykristallinem Diamant**

Bei polykristallinen Diamanten, auch PKDs genannt, werden einzelne monokristalline Diamanten industriell und unter hohem Druck zusammengepresst. Sie können als Ganzes auf der Schleifscheibe aufgebracht oder zerbrochen werden, sodass unterschiedliche Korngrößen entstehen.

Wenn die PKDs als Ganzes auf die Schleifscheibe aufgebracht werden, kommen meist noch Stützelemente zum Einsatz, deren Verschleiß auch auf die Härte des Bodens angepasst werden müssen. Diese Stützelemente können komplett aus Bindemittel bestehen oder auch MKDs enthalten.

Bei zerbrochenen polykristallinen Diamanten entstehen unterschiedlich große PKD-Stücke, welche mit Hilfe eines Bindemittels in Form und anschließend auf eine Schleifscheibe gebracht werden. Das Bindemittel wird wie bei Schleifscheiben mit MKDs auf die Härte des zu bearbeitenden Bodens abgestimmt und gewählt.

### **3.2.3. Einflussfaktoren**

#### ***3.2.3.1. Umfangsgeschwindigkeit***

Die Umfangsgeschwindigkeit ist einer der Einflussfaktoren und steht im Zusammenhang mit Härte und Abrasivität des zu bearbeitenden Materials.

Wird eine zu hohe Drehzahl verwendet, verringert sich die Zustellung. Das bedeutet, dass kein spanender Abtrag erzielt wird. Vielmehr nutzen sich nur die Spitzen der Schleifkörner ab, sodass die Schleifscheibe stumpf wird.

Bei einer niedrigen Drehzahl unterliegt die Scheibe einem zu hohen Verschleiß. Das Schleifmittel wird über den Abtrag hinaus länger beansprucht und verschleißt unnötig.

### **3.2.3.2. Nassschliff**

Man kann Oberflächen sowohl mit Trocken- als auch mit Nassschliff bearbeiten. Die Zuführung von Wasser dient hauptsächlich zur Kühlung der Schleifwerkzeuge. Problematisch ist allerdings, dass dadurch Schlämme entstehen, die mit hohem Aufwand beseitigt werden müssen.

## **4. Ablauf der Instandsetzung**

Instandsetzungen haben stets einen ähnlichen Ablauf. In den folgenden Abschnitten soll nun eine Vorschrift zur Abfolge entwickelt werden, die für Instandsetzungsmaßnahmen bei Großbehältern, hier am Beispiel eines Treibstofftanks, zutrifft.

### **4.1. Grundlagen der Voruntersuchungen**

Bei der ersten Besichtigung eines Treibstofftanks muss zunächst eine Bestandsaufnahme zur Feststellung des Ist-Zustandes stattfinden. Dazu müssen Schadensbilder erkannt und eine Schadensdiagnose durchgeführt werden. Diese dient zur Dokumentation und beinhaltet folgende Punkte:

- Schadensursache
- Schädigungsgrad
- Schadensumfang

Schadensursachen sind bereits im Abschnitt 2.2. näher erläutert. Der Schädigungsgrad beschreibt, wie tief der Schaden bereits in den Boden beziehungsweise in den Beton eingedrungen ist. Dazu müssen stichprobenartige Untersuchungen durchgeführt werden, worauf in den folgenden Abschnitten noch näher eingegangen wird.

Nach genauen Untersuchungen kann eine Einschätzung des Schadenumfangs vorgenommen werden. Daraus ergibt sich der Umfang der Instandsetzungsarbeiten und deren Ablauf.

### **4.2. Untersuchungsmethoden**

Es gibt unterschiedliche Untersuchungsmethoden. Zunächst erfolgt eine visuelle Untersuchung der Oberfläche. Anschließend wird diese genauer betrachtet und mittels verschiedener Prüfverfahren analysiert.

### **4.2.1. Augenschein**

Bei der ersten Begehung des Tanks wird die Oberfläche des Betons beziehungsweise des Bodens visuell auf offensichtliche Schadstellen überprüft. Die meisten Schäden können sofort augenscheinlich festgestellt werden.

Dies können sein:

- Risse
- Verschmutzungen
- Aufwölbungen, wie Blasen
- poröse Stellen
- abgeplatzte Beschichtungen

Solche Schäden können rein oberflächlich sein, aber sie können auch auf tiefere Mängel hindeuten. Diese Stellen müssen anschließend näher untersucht und überprüft werden.

Wichtig ist, dass nicht nur erkennbare schadhafte Stellen untersucht werden, sondern auch scheinbar schadfreie Abschnitte. Es kann auch ein kontaminierter Boden oder eine Hohlraumigkeit unter einer augenscheinlich intakten Oberfläche existieren.

### **4.2.2. Praxisnahe Untersuchungen und deren Prüfverfahren**

Um schadhafte, aber auch scheinbar intakte Abschnitte einschätzen zu können, reicht eine visuelle Untersuchung nicht mehr aus.

Die Prüfung von Betonoberflächen in reinem oder beschichtetem Zustand lebt von Beobachtungen der Prüfer beziehungsweise der Arbeiter. Es gehört ein großer Erfahrungsschatz dazu. Viele Untersuchungen basieren auf Beobachtungen und Erfahrungsaustausch.

Die folgende Tabelle zeigt eine Übersicht über Untersuchungen, einschließlich zertifizierter und allgemein anerkannter Prüfverfahren.



**Tabelle 6: Übersicht zu näheren Untersuchungen**

<b>Prüfung auf:</b>	<b>Prüfung</b>	<b>Erkennungsmerkmale</b>
Oberflächenfestigkeit	Kratzprobe mittels Schraubendreher, Meißel oder ähnlichen Werkzeugen	Absanden, Abplatzen, Absplittern
Beschaffenheit	Klopfprobe mittels Hammer	Durch Schlag abplatzen, Hohlstellen durch dumpfen Klang erkennbar
Betonqualität	Probeentnahme durch Bohrkern, welche in externen Laboren untersucht werden	Prüfung der Druckfestigkeit, Karbonatisierungstiefen, chemische Untersuchungen der Betonbestandteile
Karbonatisierungstiefe	Mittels Indikatorflüssigkeit (Phenolphthaleinlösung)	Geschädigter Beton verfärbt sich, allerdings Bohrung nötig
Abreißfestigkeit	Gitterschnitt	Einschneiden der Oberfläche und anschließendes ruckartiges Entfernen mittels Klebeband
	Mittels Haftzugprüfung siehe 4.2.2.2 (wichtig bei Beschichtungen)	Auswertung der Ergebnisse gibt Aufschluss über Haftzugswert beziehungsweise Abreißfestigkeit
Oberflächenrauheit	Mittels Sandflächenverfahren siehe 4.2.2.1	Rauheiten der Oberfläche, wichtig für nachfolgenden Abtrag und welche Höhen und Tiefen in der Rauigkeit überwunden werden müssen
Risse	Nach Augenschein, durch Wasser	Rillen visuell erkennbar, durch Wasser deutlicher sichtbar, da dunkel und länger feucht

Quelle: In Anlehnung an: Ullrich, Andreas: Diplomarbeit. Betonsanierung im Hochbau am Beispiel von Stahlbetonbauteilen, die der Witterung ausgesetzt sind. URL: <[http://www.faass-bs.de/faass-bs/de/Downloadcenter/Dokumente/Faass\\_Diplomarbeit\\_Betonsanierung.pdf](http://www.faass-bs.de/faass-bs/de/Downloadcenter/Dokumente/Faass_Diplomarbeit_Betonsanierung.pdf)>, verfügbar am 20.10.2013

Verschiedene der oben genannten Verfahren werden und können nicht in einem Großbehälter eingesetzt werden. Alle Verfahren, die eine Zerstörung des Betons in tiefere Schichten voraussetzen, sind nicht für einen Großtank geeignet. Es können keine Bohrkerne entfernt oder tiefere Bohrungen, beispielsweise für den Einsatz von Phenolphthaleinlösung, gesetzt werden. Der Tank darf als solches nicht beschädigt werden.

Nachfolgend werden nur Prüfmethoden betrachtet, die im Tank einsetzbar sind und auch verwendet werden.

Wie in vorhergehender Tabelle dargestellt, zählt zu den ersten Untersuchungen der Oberfläche die Kratzprobe. Dabei wird mit Hilfe eines spitzen Gegenstandes, beispielsweise mit einem Spachtel, Meißel oder Schraubendreher, eine Fuge in die Oberfläche "eingekratzt". Dabei soll festgestellt werden, ob es zum Absanden, Abblättern oder Abplatzen von zerstörten Betonschichten oder darauf aufgetragenen Beschichtungen kommt.

Das Absanden oder Abblättern kann auch durch eine Klopffprobe festgestellt werden. Dazu wird lediglich mit einem Hammer auf eine Stelle geklopft. Hierbei wird darauf geachtet, ob Teile des Bodens abplatzen und ob eine Rückschlagkraft vorhanden ist. Ebenfalls wird auf das Geräusch beim Klopfen geachtet. Durch die akustische Wahrnehmung können sehr erfahrene Bauleute auf den Zustand des Materials schließen. Eine dumpfe Klangwirkung lässt auf unterschiedliche Schäden wie Risse, Brüche oder Hohlstellen schließen.

Bei einem Gitterschnitt wird die Haftung und die Zwischenhaftung einer Beschichtung nach DIN EN ISO 2409 untersucht. Dabei werden mit Hilfe eines Cuttermessers jeweils sechs Schnitte senkrecht und sechs Schnitte waagegerecht in die Beschichtung bis zum Untergrund geschnitten. Dies sollte möglichst nur so tief sein, dass der gesunde Boden nicht beschädigt wird.

Die Schnittbreite ist abhängig von der Schichtdicke der Beschichtung:

- < 60 µm 1 mm Schnittabstand
- 60 µm - 120 µm 2 mm Schnittabstand
- > 120 µm 3 mm Schnittabstand

Nachdem man geschnitten hat, wird ein genormtes Klebeband auf das Schnittgitter geklebt, angedrückt und ruckartig wieder abgezogen. Mit Hilfe einer Kennwerttabelle nach DIN EN ISO 2409 kann nun die Haftung bewertet werden.<sup>16</sup>

---

<sup>16</sup> Haftung und Gitterschnitt. URL: <[www.malerlexikon.de/werkzeug/gl/gl/haftung.html](http://www.malerlexikon.de/werkzeug/gl/gl/haftung.html)>, verfügbar am 15.08.2013

Die beschriebenen Verfahren setzen teilweise große Erfahrungswerte voraus, was bei mangelnder Befähigung des Prüfers viele Risiken birgt. Die exakte Beurteilung der vorhandenen Oberfläche ist die Grundvoraussetzung für eine weitere Planung. Zudem ist die gewünschte Qualität der Oberfläche ausschlaggebend für eine Entscheidung im Bezug auf die zu verwendenden Verfahren.

Sind die Oberflächen mittels Fräsmaschine oder Schleifgerät bearbeitet worden, müssen sie erneut durch verschiedene Verfahren überprüft werden. Bei der Instandsetzung von Großbehältern aus Beton ist es notwendig, die gefrästen und/oder geschliffenen Oberflächen zu überprüfen, um festzustellen, ob die vollzogenen Arbeiten das gewünschte Oberflächenbild beziehungsweise die gewünschte Qualität der Oberfläche erzeugt haben. Dies dient zur Feststellung, ob der bearbeitete Boden für eine Beschichtung die nötige Qualität erreicht hat oder Nacharbeiten erforderlich sind.

#### **4.2.2.1. Sandflächenverfahren**

Das Sandflächenverfahren, auch Kaufmann-Verfahren genannt, dient zur Rautiefenbestimmung von Oberflächen. Mittels Quarzsand wird die mittlere Rautiefe bestimmt.

Es wird ein bestimmtes Volumen Quarzsand, beispielsweise 25 cm<sup>3</sup> oder 50 cm<sup>3</sup>, auf die zu prüfende Oberfläche geschüttet und mittels eines Holzstabes oder eines ähnlichen Gegenstandes ohne Druck kreisförmig verteilt bis die Vertiefungen in der Oberfläche gleichmäßig und gerade eben gefüllt sind. Aus dem Durchmesser der kreisrunden Sandfläche lässt sich die mittlere Rautiefe **R** berechnen:

**Formel 4** 
$$R = \frac{40 \cdot V}{\pi \cdot d^2}$$

mit:

- **R** - mittlere Rautiefe in mm
- **V** - Volumen des verteilten Sandes in cm<sup>3</sup>
- **d** - Durchmesser der Sandflächen in cm

Das Sandflächenverfahren zeichnet sich durch seine einfache und schnelle Handhabung und Durchführung ohne spezielle Prüfeinrichtungen aus.

Bei geneigten, schrägen oder Wandflächen stößt das Sandflächenverfahren an seine Grenzen. Es ist also nur bedingt einsetzbar. Die Oberflächen müssen eben beziehungsweise dürfen nur leicht geneigt sein.<sup>17</sup>

#### **4.2.2.2. Haftzugprüfung**

Betonoberflächen von Großbehältern, wie beispielsweise Tanks, werden nach dem Fräsen oder Schleifen beschichtet, um einen optimalen Schutz des Betons zu gewährleisten. Das Fräsen und Schleifen dient zur Reinigung und Profilierung der Betonoberfläche. Dies ist die Grundvoraussetzung für eine einwandfreie Haftung zwischen den Schichten beziehungsweise zwischen der Betonoberfläche und der Beschichtung oder dem Estrich.

Als Richtwert für die Haftung ist der Wert 1,5 N/mm<sup>2</sup> geläufig. Dieser Wert ist der mindestens zu erreichende Haftzugwert in der Betonbranche. Als Prüfverfahren dazu dient die Haftzugprüfung. Sie ist das meist verwendete Prüfverfahren, um den Haftzugwert am Boden als auch teilweise an Wandflächen zu ermitteln.

Zunächst wird an der zu prüfenden Stelle mittels einer Hohlbohrkrone eine zehn Millimeter tiefe Bohrung durchgeführt. Anschließend wird die Prüffläche gereinigt, getrocknet und ein zylindrischer Prüfstempel mit einem schnellhärtenden Epoxidkleber zentrisch auf die gereinigte Fläche gesetzt, sowie in den Bohrfugen mit mehreren Holzstäbchen in seiner Position fixiert. Nach einer Trocknungszeit von mindestens einer Stunde unter definierten Bedingungen (Druck, Temperatur) wird mit der Haftzugprüfung begonnen. Die Zugprüfmaschine wird dazu zentrisch über dem angeklebten Prüfstempel positioniert, mit diesem verbunden und rechtwinklig zur angebohrten Fläche abgestützt. Anschließend wird die Last kontinuierlich bis zum Bruch gesteigert und die Bruchlast im Prüfgerät aufgezeichnet.<sup>18</sup>

Nicht nur der Messwert, sondern auch die Beschreibung des Bruchortes und der Bruchstelle ist maßgebend für eine Beurteilung. An der Bruchstelle kann erkannt werden, ob nur die Haftung zwischen dem Beton und der Beschichtung gerissen ist oder ob, aufgrund der Bohrung, auch Betonteile mit herausgebrochen sind. Dies kann auf einen nicht vorschriftsmäßig verarbeiteten Beton hindeuten, der an einigen Stellen porös oder schon in tiefere Schichten kontaminiert ist.

---

<sup>17</sup> VIASOL Untergrundvorbereitung. URL: <[www.viacor-polymeres.com/fileadmin/downloads/Leitfaden/VIASOL\\_Rautiefenbestimmung.pdf](http://www.viacor-polymeres.com/fileadmin/downloads/Leitfaden/VIASOL_Rautiefenbestimmung.pdf)>, verfügbar am 15.08.2013

<sup>18</sup> Sanierungskonzepte von Grundstückentwässerungen. URL: <[www.ikt.de/online/f0098/ebene4/kapitel\\_4\\_3\\_1\\_2.html](http://www.ikt.de/online/f0098/ebene4/kapitel_4_3_1_2.html)>, verfügbar am 16.08.2013

### 4.3. Arbeitsschutz

Nicht nur die Untersuchungen des Ist-Zustandes und die daraus folgende Bewertung dienen zur Konzeptplanung der Instandsetzung. Wichtig sind auch die Rahmenbedingungen. Aufgrund der Geometrien und der schweren Zugänglichkeiten müssen die Sicherheitsanforderungen stets im Auge behalten werden.

Ob Behälter, Tanks oder Silos, es muss stets die Sicherheit der Arbeiter gewährleistet sein. Um dies zu erfüllen, gibt es Gesetze und Bestimmungen vom Land oder auch der Berufsgenossenschaften. Aufgrund gesetzlicher Regelungen, zum Beispiel nach dem Arbeitsschutzgesetz, ist der Unternehmer verpflichtet, eine Gefährdungsbeurteilung beziehungsweise Gefährdungsanalyse durchzuführen und zu dokumentieren. Betrachtungsfelder können die Ablauforganisation, Arbeitsmittel, Gefahrenstoffe und die Notfallplanung sein. Jeder Unternehmer muss die Gefährdungsbeurteilung individuell erarbeiten und dokumentieren. Zur Unterstützung stellt die Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft - kurz BG Bau - Arbeitshilfen und verschiedene Formulare zur qualifizierten Erstellung einer solchen Beurteilung zur Verfügung.<sup>19</sup>

**Abbildung X: Gefährdungsbeurteilung - Vorgehensweise**



Quelle: Gefährdungsbeurteilung. URL: <[http://www.bgbau-medien.de/bausteine/a\\_209/a\\_209.htm](http://www.bgbau-medien.de/bausteine/a_209/a_209.htm)>, verfügbar am 23.08.2013

Die Grafik der BG Bau dient als Leitfaden für eine Gefährdungsbeurteilung. Es hilft, die zu untersuchenden Arbeitsbereiche abzugrenzen. Danach müssen die Gefährdungen

<sup>19</sup> Gefährdungsbeurteilung. URL: <[www.bgbau.de/asd\\_der\\_bgbau/arbeitsmedizin/gefaehrdg](http://www.bgbau.de/asd_der_bgbau/arbeitsmedizin/gefaehrdg)>, verfügbar am 23.08.2013

ermittelt werden, die anschließend bewertet und beurteilt werden. Dazu dient eine von der Berufsgenossenschaft zur Verfügung gestellte Tabelle.

**Abbildung XI: Mögliche Gefährdungen**

<b>Mögliche Gefährdungen</b> <span style="float: right;">②</span>					
<b>Mechanische Gefährdungen</b>	<b>Elektrische Gefährdungen</b>	<b>Schall</b>	<b>Schwingungen</b>	<b>Gefahrstoffe</b>	<b>Brand/Explosion</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Absturz</li> <li>• stolpern, rutschen stürzen</li> <li>• erfasst/getroffen werden</li> <li>• unkontrolliert bewegte Teile</li> <li>• umstürzende/kippende Teile</li> <li>• schneiden</li> <li>• stechen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stromschlag</li> <li>• gefährliche Körperströme</li> <li>• elektrostatische Aufladungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lärm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hand-Arm-Schwingung, z.B. durch Abbruchhammer</li> <li>• Ganzkörper-Schwingung, z.B. bei Fahrerplätzen (Stapler u.a.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asbestfasern</li> <li>• Lösemittel</li> <li>• Isocyanate</li> <li>• Säuren, Laugen</li> <li>• PAK, PCB</li> <li>• Benzol</li> <li>• Dieselmotor-Emissionen</li> <li>• ....</li> <li>in Form von               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Flüssigkeiten</li> <li>- Gasen</li> <li>- Dämpfen</li> <li>- Stäuben</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bei Verwendung von Flüssiggas</li> <li>• Funkenflug, z.B. bei Schweißarbeiten</li> <li>• Staubexplosionen</li> </ul>
<b>Biologische Arbeitsstoffe</b>	<b>Körperliche Überlastungen</b>	<b>Klima</b>	<b>Strahlung</b>	<b>Psychosoziale Belastungen</b>	<b>Organisation</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infektionen durch Keime, z.B. bei Kanalarbeiten, Krankenhausreinigung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heben und Tragen</li> <li>• Zwangshaltungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hitze</li> <li>• Kälte</li> <li>• Zugluft</li> <li>• Luftfeuchtigkeit (Niederschläge)</li> <li>• Ozon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elektromagnetische Felder, z.B. Nähe zu Funkmasten</li> <li>• Infrarot-/UV-Strahlung, z.B. Sonneneinstrahlung, Lichtbogen, beim Schweißen</li> <li>• Laserstrahlung, z.B. bei der Vermessung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Überforderung</li> <li>• Unterforderung</li> <li>• Stress</li> <li>• Soziale Beziehungen, z.B. Mobbing</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arbeitsablauf</li> <li>• Arbeitszeit</li> <li>• Qualifikation</li> <li>• Unterweisung</li> <li>• Verantwortung</li> </ul>
					<b>Sonstige Gefährdungen</b>
					Arbeiten in Über- und Unterdruck, in feuchtem Milieu, mit heißen Medien/Oberflächen u.a.

Quelle: Gefährdungsbeurteilung. URL: <[http://www.bgbau-medien.de/bausteine/a\\_209/a\\_209.htm](http://www.bgbau-medien.de/bausteine/a_209/a_209.htm)>, verfügbar am 23.08.2013

Die gesamte Beurteilung muss stets dokumentiert werden. Bei verschiedenen Arbeitsabläufen muss jeder einzelne dieser Abläufe beurteilt werden. Sind die Arbeitsabläufe ähnlich, ist es ausreichend, wenn nur einer beispielhaft bewertet wird.

### **4.3.1. Allgemeiner Arbeitsschutz**

Die Arbeitsbedingungen bei der Instandsetzung von Großbehältern, wie zum Beispiel Tanks oder Silos, bergen viele verschiedene Gefahren. Diese sollen durch grundsätzliche Arbeitsschutzmaßnahmen minimiert oder gänzlich behoben werden.

Dazu gehören unter anderem:

- das Tragen eines Gehörschutzes, aufgrund der Lautstärke der zu verwendenden Maschinen und dem hinzukommenden Hall in geschlossenen Räumen
- das Tragen von Schutzkleidung
- das Tragen von Arbeitsschutzschuhen
- das Tragen einer Staubmaske beziehungsweise Atemschutzes aufgrund der Staubentwicklung durch die Arbeiten; erschwerend kommt die Staubentwicklung bei Arbeiten in geschlossenen Räumen dazu

Nicht nur Staubentwicklungen und Lärm sind Gefahren für den Arbeiter. Ebenfalls können arbeitsbedingte Gesundheitsgefahren auftreten. Diese können durch die körperliche Belastung, psychische Fehlbelastung und Belastungen aus der Arbeitsumwelt entstehen.<sup>20</sup>

Das Tragen und Heben von schweren Lasten und das Arbeiten in Zwangshaltungen sind die Hauptbelastungsarten.

Zwangshaltungen können sein:

- Hocken
- in verdrehter Körperhaltung
- auf Knien
- mit gebeugtem Rücken
- über Schulterhöhe, Überkopfarbeiten

Solche Zwangshaltungen sollten möglichst vermieden werden. Da dies aber in den meisten Fällen im Baugewerbe und auch speziell bei Instandsetzungsmaßnahmen nicht

---

<sup>20</sup> Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz am Bau. URL: <[www.bgbau-medien.de/html/pdf/merkhefte/arbeits.pdf](http://www.bgbau-medien.de/html/pdf/merkhefte/arbeits.pdf)>, verfügbar am 01.08.2013

möglich ist, muss stets auf einen periodischen Wechsel der Arbeiten mit einem daraus folgenden Wechsel der Körper- und Arbeitshaltung geachtet werden.

Bei Instandsetzungsmaßnahmen werden hauptsächlich handgehaltene Maschinen und Geräte verwendet, die während des Betriebes stark schwingen beziehungsweise vibrieren. Dies wird im Arbeitsschutz als "Schwingungseinwirkungen auf das Hand-Arm-System" bezeichnet. Daraus können Durchblutungsstörungen und Nervenschäden der Finger und Hände resultieren. Eine weit verbreitete Folge solcher Arbeiten ist das vibrationsbedingte Vasospastische Syndrom, auch Weiße-Finger-Syndrom oder Raynaud-Syndrom genannt. Es ist als Berufskrankheit international anerkannt und zeichnet sich durch plötzlich auftretende Durchblutungsstörungen aus, die meist durch Kälte oder kleine Vibrationen im Alltag ausgelöst werden können.<sup>21</sup>

Um solche Schäden zu vermeiden, sollte auf die Einsatzzeit und das Wechseln der Tätigkeiten geachtet werden. Ebenfalls sind alternative Maschinen und Arbeitsverfahren zu prüfen und es sollte stets ein Schwingungsdämpfer verwendet werden.<sup>22</sup>

Nicht nur die körperlichen Belastungen der Arbeiter sind relevant. Die Arbeiten in Großbehältern sind auch eine große psychische Belastung für die Arbeiter. Das fehlende Tageslicht, der Geruch, das Arbeiten im geschlossenen Raum über einen längeren Zeitraum und die schwere körperliche Arbeit sind Faktoren, die die Arbeiten über den ganzen Zeitraum der Instandsetzung begleiten und von der Psyche des Arbeiters viel abverlangen. Daher muss mit besonderer Sorgfalt bei der Wahl der einzusetzenden Arbeitskräfte vorgegangen werden. Es kann der Fall eintreten, dass nur ein Einsatz über einen kürzeren Zeitraum möglich ist, falls die psychische und körperliche Belastung zu groß wird. Danach sollten die Arbeiter ausgetauscht werden. Ist das nicht realisierbar, kann es zu einem drastischen Fall der Arbeitsmoral oder auch zu krankheitsbedingten Ausfällen kommen.

### **4.3.2. Befahren von Behältern und Gruben**

Um bei einer Gefährdungsanalyse keine signifikanten Punkte zu vergessen, stellen verschiedene Organisationen, zum Beispiel die Arbeitsinspektion, entsprechende Vorschriften zur Verfügung. Bei der Instandsetzung von Großbehältern, die in dieser Arbeit untersucht wird, müssen die Vorschriften zum "Befahren von Behältern und

---

<sup>21</sup> Vibrationsbedingtes Vasospastisches Syndrom. URL: <[www.humanschwingung.de/index.php?nav1=3](http://www.humanschwingung.de/index.php?nav1=3)>, verfügbar am 11.09.2013

<sup>22</sup> Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz am Bau. URL: <[www.bgbau-medien.de/html/pdf/merkhefte/arbeits.pdf](http://www.bgbau-medien.de/html/pdf/merkhefte/arbeits.pdf)>, S. 15, verfügbar am 01.08.2013



Gruben" betrachtet werden. Darin werden alle notwendigen Maßnahmen zum Schutz der Arbeiter behandelt.

Wenn Behälter oder ähnliche Einrichtungen, wie Tanks oder Silos, befahren werden, ist eine geeignete Person zu bestellen, welche Schutzmaßnahmen schriftlich anordnet und die Zustimmung zum Befahren erteilt. Die Einhaltung dieser Schutzmaßnahmen ist durch eine Aufsichtsperson sicherzustellen.

Die Maßnahmen sind allerdings nicht erforderlich, wenn sichergestellt ist, dass weder Sauerstoffmangel auftreten kann noch gesundheitsgefährdende oder brandgefährliche Arbeitsstoffe vorhanden sind. Falls jedoch Schutzmaßnahmen gefordert sind, dürfen die Einrichtungen erst nach schriftlicher Erlaubnis befahren werden.

Falls hineinführende Leitungen, sonstige Beschickungsvorrichtungen oder Verbindungen mit anderen Einrichtungen vorhanden sind, müssen diese verschlossen werden. In besonderen Fällen gibt es automatische oder ferngesteuerte Absperrvorrichtungen, deren Abschluss der Zuleitung mittels Blindflansche erfolgt, sofern die Rohrleitung nicht durch zwei hintereinander angeordnete Vorrichtungen mit einer dazwischenliegenden Öffnung abgesperrt werden kann. Diese Maßnahmen sollen das Entstehen eines Überdruckes verhindern.

Im Bedarfsfall sind weitere Maßnahmen zu ergreifen, wie zum Beispiel das Einblasen von Frischluft, eine ausreichende mechanische Belüftung und das Tragen von Atemschutzgeräten. Das Einblasen von Sauerstoff ist verboten. Falls es nicht auszuschließen ist, dass ein Sauerstoffmangel oder eine Konzentration gesundheitsgefährdender Arbeitsstoffe auftreten kann, darf nur mit Atemschutzgerät und Schutzkleidung gearbeitet werden.

An der Einstiegsstelle muss durchgehend eine unterwiesene Person anwesend sein, die in der Lage ist, den Eingefahrenen, wenn er angeseilt ist, alleine bergen zu können. Falls keine Anseilung möglich ist, muss die Person Hilfe holen können, ohne sich von ihrem Einsatzort zu entfernen. Ebenfalls muss ein ununterbrochener Kontakt gewährleistet werden. Falls keine Sichtverbindung besteht, muss zumindest ein Rufkontakt vorhanden sein, falls notwendig auch über Funk.

Falls keine Befahreinrichtung eingesetzt werden kann, müssen die Einfahrenden beziehungsweise die Arbeiter mittels eines Sicherheitsgeschirres so angeseilt werden, dass eine schnelle Bergung erfolgen kann. Bergeeinrichtungen, wie Seilwinden und Hubzüge, müssen erforderlichenfalls bereitgestellt werden.

Wurden oder werden brandgefährliche Arbeitsstoffe bevorratet, dürfen nur Kunststoff umhüllte Stahlseile oder Seile mit zumindest gleichwertiger Hitzebeständigkeit verwendet werden.

Die Befahr- und Bergeeinrichtungen sind entsprechend der Arbeitsmittelverordnung zu prüfen. Falls keine Anseilung möglich ist, müssen geeignete Ausstiegseinrichtungen vorhanden sein.

Bei regelmäßig oder öfter befahrenen Schächten, die gesundheitsgefährdende Arbeitsstoffe enthalten, müssen kontinuierliche Messeinrichtungen vorhanden sein. Dies gilt auch, wenn die Luft einen Volumenanteil von weniger als 17 Prozent Sauerstoff aufweist. Falls es sich um weniger befahrene Einrichtungen handelt, müssen die Konzentrationswerte durch andere Messeinrichtungen festgestellt werden.

Bei den Einstiegen zu Schächten oder ähnlich engen Einrichtungen müssen Warntafeln angebracht werden, die auf die möglichen Gefahren hinweisen und den unnötigen Aufenthalt verbieten. Bei Anlagen mit größerer Ausdehnung müssen die nächstgelegenen Ausgänge und Fluchtwege mittels Beschilderung gekennzeichnet werden.

Einrichtungen wie Silos, bei denen die Entnahme der Schüttgüter seitlich oder von unten erfolgt, dürfen nur im entleerten Zustand befahren werden, außer es tritt ein Notfall ein. Falls ein Notfall eintritt, darf während des Befahrens kein Schüttgut entnommen werden. Es muss gewährleistet sein, dass die Entleerungsöffnungen geschlossen gehalten werden.<sup>23</sup>

## 4.4. Lösungskonzept

Nachdem der Ist-Zustand dokumentiert, die Schäden eingeschätzt und eine Gefährdungsanalyse durchgeführt wurde, kann dazu übergegangen werden, ein Konzept zu entwickeln.

Es ist wichtig, dass die Wirtschaftlichkeit bei der Planung Priorität hat. Das bedeutet, es müssen verschiedene Kosten betrachtet und kalkuliert werden. In direkter Wechselbeziehung zu den Kosten steht die Arbeitszeit. Die Arbeitskräfte und die Nutzung der Maschinen und Werkzeuge bilden pro Tag einen großen Kostenfaktor. Daher sollte die Arbeitszeit möglichst minimal gehalten werden. Allerdings sollten auch Zeitpuffer eingeplant werden.

Die einzusetzenden Arbeitskräfte und die Maschinen können erst geplant und kalkuliert werden, wenn ein Konzept aufgestellt wurde. Dazu muss man sich über die möglichen Verfahren und die dazugehörigen Anwendungsbereiche informieren und abschätzen, was für Instandsetzungsmaßnahmen gewünscht beziehungsweise erforderlich sind.

---

<sup>23</sup> Befahren von Behältern und Gruben. URL:

<[www.arbeitsinspektion.gv.at/AI/Arbeitsstaetten/Arbeitsvorgaenge/arbeitsvorgaenge070.htm](http://www.arbeitsinspektion.gv.at/AI/Arbeitsstaetten/Arbeitsvorgaenge/arbeitsvorgaenge070.htm)>, verfügbar am 31.07.2013

In der folgenden Abbildung sind alle Verfahren und Anwendungsbereiche übersichtlich dargestellt.

**Abbildung XII: Verfahren für die Vorbereitung von Oberflächen**

	Verfahren		Anwendungszweck					Anwendungsbereich	Anforderungen	Mindestumfang der Nachbearbeitung
	Art	Gerät, Material, Stoff	1	2	3	4	5			
1	Stemmen	Hammer von Hand	x	x	x			örtlich, für kleine Flächen	Beschädigungen des Betonstahls sind zu vermeiden; besondere Vorsicht bei Spanngliedern	Strahlen
		Meißel						a)		
		Meißel Pressluft oder elektrisch								
		Nadelpistole	x	x		(x)	g)			
2	Bürsten	rotierende Stahlbürste	x	x		(x)	g)	Anwendungsbereich ist geräteabhängig		Säubern
3	Fräsen	Walzen-Fräse (z. B. Feinfräse mit 5 mm Meißelabstand oder Diamantfräse)	x	x	k)	x	k)	großflächige Abtragung auf waagerechten Oberflächen	Betonabtrag je Arbeitsgang $\leq 5$ mm; höhen-gleiche Überlappungen der Fräsbahnen $\leq 5$ cm; Einsatz eines elektronischen Messgerätes	Strahlen einschließ-lich unbe-handelt verblie-bener kleinerer Flächen
4	Schleifen	Schleifgerät	x	x				örtlich, für kleine Flächen		Säubern
5	Flammstrahlen	Gerät zur thermischen und mechanischen Behandlung b)	x	x				waagerechte und senkrechte Flächen	Gemäß DIN 32539, aber mit Geschwindigkeit $\geq 1,0$ m/min und mechanischen Vortrieb	Säubern nach mechanischer Belastung
6	Staubfreies Strahlen	Gerät mit festen Strahlmittel bei gleichzeitigem Absaugen	x	x	(x)	c)	x	geräteabhängig auf waagerechten und/oder senkrechten Flächen		
7a	Strahlen	Druckluftstrahlen mit festem Strahlmittel	x	x	(x)	c)	x	waagerechte und senkrechte Flächen	Staubschutz erforderlich; Gefahrstoffverordnung beachten; Druckluft ölfrei d)	Säubern
7b		Nebelstrahlen	x	x	(x)	c)	(x)	h)	Staubschutz kann entfallen	Säubern
7c		Druckstrahlen mit Wasser-Sand-Gemisch und Feuchtstrahlen	x	x	(x)	c)	(x)	h)	Druckluft ölfrei d)	Säubern
7d		Druckwasserstrahlen ( $\geq 80$ MPa)	x	x	(x)	e)	(x)	h)		Säubern
8a	Säubern	Abblasen mit Druckluft					x	vorzugsweise auf nicht waagerechten Flächen	Druckluft ölfrei d) Staubschutz erforderlich	
8b		Absaugen mit Industriesaugern					x	Regelverfahren auf großen waagerechten Flächen	Verwendete Sauger müssen Wasser und grobe Teile aufnehmen können	
8c		Wasserstrahlen, Dampfstrahlen, Heißwasserstrahlen	(x)	f)			x	Entfernen von atmosphärischen Verunreinigungen auf der Betonunterlage		

Quelle: Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-ING Teil 3 Massivbau, Stand 04/10. URL: <[http://www.farbe-bfi.de/1003\\_ZTV-ING-Teil-3-Abschn-4-Schutz-Instands\\_Beton.pdf](http://www.farbe-bfi.de/1003_ZTV-ING-Teil-3-Abschn-4-Schutz-Instands_Beton.pdf)>, verfügbar am 27.08.2013

Es muss immer darauf geachtet werden, dass man vom Groben zum Feinen arbeitet. Das bedeutet, dass zunächst Geräte und Werkzeuge verwendet werden, die einen schnellen Abtrag der Oberfläche oder in diesem Fall der beschädigten Beschichtung erzielen.

Nach den Untersuchungen der Oberfläche wird damit begonnen, die Beschichtung abzutragen. Die Entschichtung des Tanks erfolgt in folgender Reihenfolge:

1. Deckenflächen
2. Wandflächen
3. Bodenflächen

Zunächst wird die Beschichtung an der Deckenfläche und dann an der Wandfläche eingeschnitten. Beides erfordert Aufwand, Kraft und Können. Es muss zunächst eine Rüstung bereit gestellt werden, die mobil ist und möglichst nah an die Wandflächen herangefahren werden kann. Die angeschrägte Deckenfläche wird über Kopf geschnitten. Es erfolgen Schnitte im Abstand von 25 Zentimetern mit Diamantscheiben, so dass Streifen entstehen, die vom Betonuntergrund abzulösen sind.

Die Wand- und Deckenflächen werden momentan ausschließlich mit Handschleifgeräten bearbeitet, da es noch keine zugelassenen und praktikablen Haltevorrichtungen für Werkzeugmaschinen gibt, die nicht mittels Bohrungen in der Oberfläche befestigt werden. Solche Hilfsmittel sind in einem Tank oder anderen Großbehältern nicht verwendbar, da eine Zerstörung der Oberfläche nicht gestattet ist.<sup>24</sup>

Ist die Beschichtung in Streifen geschnitten, kann es aufgrund des Eigengewichts der entstehenden Rolle passieren, dass sie sich durch die Gewichtskraft wie von selbst abrollt. Es muss allerdings darauf geachtet werden, dass die Rollen nicht zu breit und nicht zu schwer werden, da sonst ein Abtransport nicht mehr gewährleistet werden kann.

Nachdem das entfernte Beschichtungsmaterial von Decken- und Wandflächen entsorgt wurde, beginnt die Arbeit am Boden. Dazu wird der Boden mittels Gitterschnitt in Quadrate mit einem bestimmten Abstand geschnitten. Dieser Vorgang wird auch als Filetieren bezeichnet. Der Abstand der Schnitte ist frei wählbar. Es hat sich ein Abstand von 25 bis 30 Zentimetern bewährt, da die entstehenden Quadrate dann eine optimale Größe zum Entfernen besitzen. Das anschließende Abschälen, auch Strippen genannt, wird dadurch erleichtert.

Allein das Schneiden des Bodens ist eine große körperliche Herausforderung des Arbeiters. Es erfolgt meist in einer gebückten Körperhaltung oder sogar auf Knien. Der Arbeiter muss stets bemüht sein, nur die Beschichtung zu schneiden und nicht in den gesunden Boden einzudringen. Um eine Vorstellung der Dimensionen und die Anzahl der Schnitte zu bekommen, soll folgendes Beispiel helfen.

Es sollte ein Tank mit einem Durchmesser von 32,8 Metern als Vorbereitung für eine anschließende Beschichtung entschichtet werden. Dazu wurde die Bodenfläche mit einem Schnittabstand von 25 Zentimetern filetiert. Anschließend wurden die entstandenen

---

<sup>24</sup> Schlussbericht/Erfolgsbericht Firma BSA Oberflächenservice Büchner GmbH: FuE:0904/00074

Quadrate mittels eines Strippers abgeschält. Zur Berechnung der Schnitte und dem dazugehörigen zurückgelegten Weg, dient folgende Rechnung:

Die kreisrunde Bodenfläche eines Tanks wird sich in Vierteln vorgestellt. Um die laufenden Meter des Gitterschnitts zu berechnen, muss Folgendes ermittelt werden:

- Radius  $r$
- Seitenlänge  $a_i$
- Seitenlänge  $b_i$

Die Seitenlänge  $b_i$  ergibt sich aus dem Radius  $r$  und dem Abstand  $x$  der Schnitte. Da der Gitterschnitt alle 25 Zentimeter erfolgen soll, kann die Anzahl der Schnitte  $i$  berechnet werden:

**Formel 5** 
$$i = \frac{16,4m}{0,25m} = 65,6$$

Das bedeutet, es werden in einem Viertel 65 Schnitte pro Schnittrichtung gemacht. Um die dazugehörige Seitenlänge  $a_i$  zu ermitteln, wird der Satz des Pythagoras genutzt:

**Formel 6** 
$$r^2 = a_i^2 + b_i^2$$

Daraus folgt: 
$$a_i = \sqrt{r^2 - b_i^2}$$

Da genau von dem Mittelschnitt  $b_0 = 0$  ausgegangen wird, lautet die Formel zur Bestimmung der Schnittlänge  $l$  pro Richtung:

**Formel 7** 
$$l = 2 \cdot r + \left( \sum_{i=1}^{65} \sqrt{r^2 - b_i^2} \right) \cdot 4$$

$$l = 2 \cdot 16,4 m + \left( \sum_{i=1}^{65} \sqrt{(16,4 m)^2 - b_i^2} \right) \cdot 4$$

$$l = 3380,28 m$$

**Formel 8** 
$$l_{ges} = 2 \cdot l = 2 \cdot 3380,28 m = 6760,56 m$$

Das bedeutet, dass die Arbeiter rund 6,8 Kilometer in gebückter oder knieender Körperhaltung zurücklegen.

Das Schneiden erfolgt meistens nach Abschnitten, sodass ein anderer Arbeiter parallel dazu die bereits geschnittenen Quadrate abschälen kann. Aus Arbeitsschutzgründen sollte die Tätigkeit nach einer bestimmten Zeiteinheit getauscht werden, beziehungsweise die Arbeiter wechseln sich ab.

Bei einer Beschichtungsdicke von bis zu zwei Zentimeter zeigen Erfahrungswerte, dass gut konditionierte Arbeiter 90 Quadratmeter pro Arbeitstag schaffen. Das entspricht bei einem Gitterschnitt mit einem Abstand von 25 Zentimetern 1440 Quadraten.

Um die Dauer der Bearbeitung bei einem Tank mit 35 Metern Durchmesser zu bestimmen, wird folgende Berechnung getroffen:

**Formel 9**

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (35m)^2$$

$$A = 962,1128 m^2$$

**Formel 10**

$$\frac{963 m^2}{90 m^2} = 10,7$$

Die Bearbeitung der Bodenfläche von rund 963 Quadratmetern erstreckt sich über einen Zeitraum von 10,7 Tagen, also rund elf Tagen. Diese Berechnungen gelten allerdings nur mit Einschränkungen. Es wurde ausschließlich das Entschichten der Bodenfläche betrachtet.

Nach dem Entfernen der Beschichtung werden die Oberflächen gefräst und/oder geschliffen. Bei der Bodenbearbeitung kann zuerst mit einer kleinen Maschine, welche durch das Zugangsloch passt, gefräst werden. Anschließend wird mit einem Diamantschleifgerät die Oberfläche geschliffen. Häufig wird nur noch partiell gefräst, da die Diamantschleifgeräte universell einsetzbar sind und eine komplette Bearbeitung des Bodens mittels Fräse überflüssig machen.

Die Technologien zum Fräsen und Schleifen sind bereits in Kapitel 3 ausführlich beschrieben worden und sollen hier nicht weiter erläutert werden.

Nach dem Fräsen und Schleifen wird die Oberfläche anschließend gesäubert und gereinigt. Es muss eine saubere und beschichtungsfähige Oberfläche geschaffen werden. Bevor eine Beschichtung erfolgen kann, muss erneut überprüft und beurteilt werden, ob der Beton die Anforderungen für eine anschließende Beschichtung erfüllt.

Allgemeine Voraussetzungen sind:

- Der Untergrund muss saugfähig und frei von losen und mürben Bestandteilen sowie trennenden Substanzen sein
- Bei einigen Untergründen sind bei der Untergrundvorbereitung Besonderheiten zu beachten wie zum Beispiel bei Anhydritestrichen, die nicht nur kugelgestrahlt, sondern anschließend noch geschliffen werden müssen, um eine Haftzugsfestigkeit von mehr als 1,5 N/mm<sup>2</sup> zu erreichen<sup>25</sup>

Im Abschnitt 4.2.2 sind bereits Prüfungsverfahren beschrieben worden, welche erneut zum Einsatz kommen müssen.

Genügt die Qualität der Oberfläche den Ansprüchen des Beschichters nicht, muss die Oberfläche erneut bearbeitet und anschließend überprüft werden. Dies muss solange wiederholt werden, bis die Oberfläche alle Ansprüche des Beschichters erfüllt. Anschließend kann mit der Beschichtung begonnen werden. Der Beschichtungsvorgang wird im folgenden Abschnitt nur kurz geschildert.

Zu Beginn wird die Oberfläche grundiert. Falls Dellen oder ähnliches vorhanden sind, wird ein Ausgleichsspachtel auf Polyurethanbasis verwendet. Herrscht zwischen der Grundierung und der Beschichtung ein zu großer Zeitabstand, muss die Grundierung nach Aufbringen abgesandet werden. Erfolgen die Arbeitsschritte aufeinander, ist ein Absanden nicht nötig, sodass die Beschichtung auf Epoxidharzbasis sofort aufgebracht werden kann. Nach einer Trocknungszeit von 24 Stunden bei 20 Grad Celsius sind die Schichten, also der Beton, die Grundierung und die Beschichtung fest miteinander verbunden.

---

<sup>25</sup> Allgemeine Hinweise zu Megaplast Bodenbeschichtungssysteme. URL: <[http://www.megaplast-bauchemie.de/\\_srv.write/assets/Download-Allgemein/Kapitel\\_01\\_Allgemeine\\_Hinweise.pdf](http://www.megaplast-bauchemie.de/_srv.write/assets/Download-Allgemein/Kapitel_01_Allgemeine_Hinweise.pdf)>, S. 3, verfügbar am 12.03.2013

## 5. Beurteilungskriterien

Um die Bearbeitung von Betonoberflächen und die Verfahren, die dazu genutzt werden, zu beurteilen, müssen verschiedene Kriterien entwickelt werden.

### 5.1. Qualitätsparameter

Die Beurteilung der Oberflächenrauigkeit erfolgt im Moment nur empirisch. Eine Beurteilung bei senkrechten und geneigten Flächen sowie über Kopf erfolgt visuell, durch Tastschnitt- oder mittels Laserverfahren. Dies sind allerdings keine praxisgerechten Messmethoden.

Um die Rautiefe bei waagerechten oder leicht geneigten Flächen zu bestimmen, kann das Sandflächenverfahren genutzt werden. Dieses Verfahren ist bereits in Punkt 4.2.2.1 beschrieben worden.

Als weitere Untersuchungsmöglichkeit kann das Laserverfahren eingesetzt werden. Dabei werden Höhenprofile durch einen Wegsensor gemessen und dokumentiert. Der Sensor ist auf einem Schlitten montiert und wird mit einer konstanten Vorschubgeschwindigkeit von fünf Millimetern pro Sekunde über die Oberfläche bewegt. Das ausgegebene Signal des Sensors wird alle zehn Millisekunden erfasst, sodass ausreichend Wertepaare für eine Auswertung entstehen. Der Schlitten mit dem Sensor wird in einem Rahmen geführt, der wiederum in einem Grundgestell verschiebbar ist.

Da ein Gestell verwendet wird, ist dieses Verfahren in einem Großbehälter nur bedingt einsetzbar. Es muss zunächst eine Vorrichtung für die Befestigung des Schlittens konstruiert und gebaut werden, damit dieser nicht in die Betonoberfläche verschraubt werden muss. Dies würde eine Zerstörung der Oberfläche nach sich ziehen.

Es wird ersichtlich, dass es bei der qualitativen Beurteilung der Betonoberflächen an praxisnahen Untersuchungsmethoden mangelt und eine Forschung hinsichtlich praktikabler Handhabung bei solchen Untersuchungen lohnend und wünschenswert wäre.



## 5.2. Produktivitätsparameter

Um einen Aufschluss über die Produktivität verschiedener Bearbeitungsverfahren zu bekommen, sollen Parameter entwickelt werden.

Dazu wird die Kenngröße des Zeit-Spanungs-Volumen  $Q$  eingeführt. Sie gibt Aufschluss über die spanend abgenommene Menge der Oberfläche, beispielsweise der Beschichtung, pro bestimmter Zeiteinheit.

Um das Zeit-Spanungs-Volumen zu ermitteln, wurde ein Versuch an zwei repräsentativen Betonplatten durchgeführt. Diese Platten sind mit einer Zwischenschicht und einer Beschichtung versehen und können als identisch mit der Betonoberfläche in einem Treibstofftank betrachtet werden.

Während des Versuches ist eine der Musterplatten mit zwei verschiedenen Schleifscheiben und die zweite Musterplatte mit einer Fräsmaschine bearbeitet worden. Es wurde die Zeit gemessen, die für die Erzielung eines vorher festgelegten Ergebnisses gebraucht wird. Anschließend wurde die Abtragstiefe ermittelt, welche zur Bestimmung des Zeit-Spanungs-Volumen dient. Bei dem Experiment kamen nur Schleifscheiben mit Diamantenbestückung zum Einsatz. Bei der Fräsmaschine wurden Fräslamellen mit Hartmetallspitzen genutzt.

Der Versuchsaufbau zeichnet sich durch diese beschichtete Betonplatte aus, welche mittels Schraubzwingen auf einer Unterlage befestigt wurde. Der Aufbau ist in nachfolgender Abbildung dargestellt.

**Abbildung XIII: Versuchsaufbau**



Nach Befestigung der Betonplatte wurden zwei Abschnitte eingeteilt, die jeweils 30 Zentimeter lang und 12 Zentimeter breit waren. Die Begrenzung erfolgte mittels zwei weiterer Schraubzwingen und mit Hilfe von Bleistiftstrichen.

Die Bearbeitung der Abschnitte führte ein ausgewählter Facharbeiter durch, damit das Ergebnis nicht durch unsachgemäßen Gebrauch verfälscht wird und eine repräsentative Aussage getroffen werden kann. Es wurde ein Schleifgerät der Firma Hilti mit einem Bearbeitungsdurchmesser von 125 Millimetern verwendet. Da das Schleifen ein staubarmer Vorgang sein soll, muss stets auf eine ausreichend starke Absaugvorrichtung geachtet werden. Dazu wurden Industriesauger der Firma Blastrac verwendet, die in der Stärke der Absaugung variabel sind.

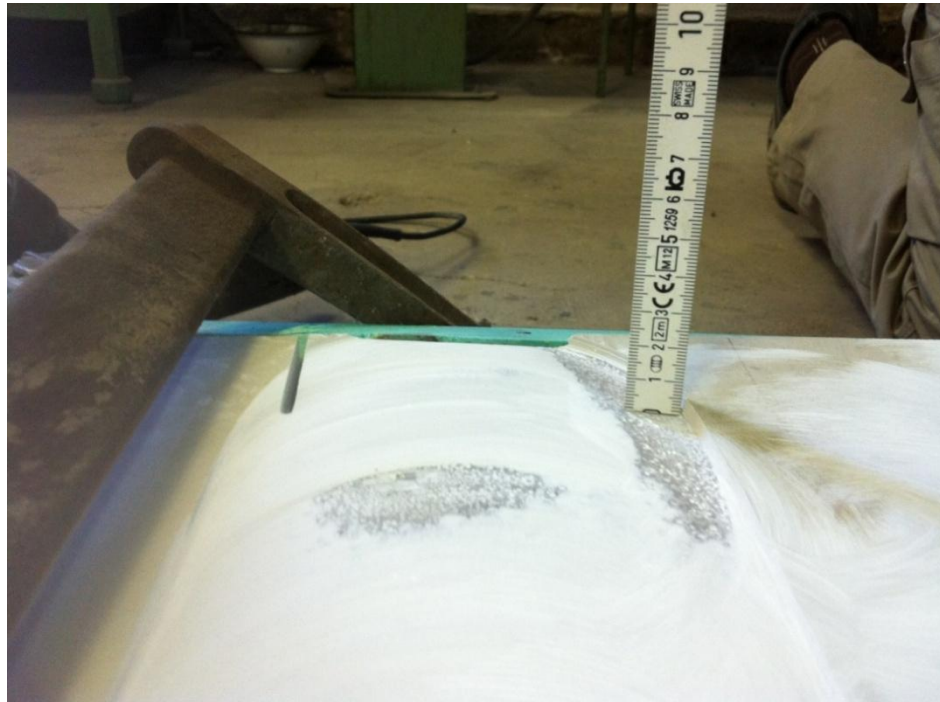
Für den Abschnitt 1 wurde eine Schleifscheibe der Firma Atlas verwendet. Diese Scheibe wird als Rondo bezeichnet und ist mit PKD-Split versehen.

**Abbildung XIV: Rondo mit PKD-Split**



Während der Bearbeitung des Abschnittes wurde stets die Zeit genau festgehalten. Der Abtrag erfolgte gleichmäßig und mit ausreichendem Anpressdruck. Nachdem der gewünschte Abtrag erzielt wurde, wurde die Zeit angehalten. Anschließend ist die Abtragstiefe ermittelt worden.

Abbildung XV: Ermittlung der Abtragstiefe von Abschnitt 1



Es konnte nach 84 Sekunden ein Abtrag der Beschichtung von fünf Millimetern gemessen werden. Diese Eckdaten dienen zur Ermittlung des Zeit-Spanungs-Volumen bei der Verwendung einer Rondo-Schleifscheibe.

Tabelle 7: Zeit-Spanungs-Volumen  $Q_1$ 

<u>Ermittlung des Zeit-Spanungs-Volumen <math>Q_1</math></u>	
<b>Abmessungen des Abschnittes:</b>	Länge $l = 30 \text{ cm}$
	Breite $b = 12 \text{ cm}$
	Abtragstiefe $a = 0,5 \text{ cm}$
<b>Ermittlung des Abspannvolumens:</b>	<b>Formel 11</b>  $V = l \cdot b \cdot a$ $V = 30 \text{ cm} \cdot 12 \text{ cm} \cdot 0,5 \text{ cm}$ $V = 180 \text{ cm}^3$

<b>Ermittlung des Zeit-Spanungs-Volumen:</b>	<b>Formel 12</b> $Q = \frac{V}{t}$ $Q = \frac{180 \text{ cm}^3}{84 \text{ s}}$ $Q = 2,14 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 128,57 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$
--	---

Quelle: Eigene Darstellung

Das Zeit-Spanungs-Volumen der Rondo-Schleifscheibe beträgt rund 129 cm<sup>3</sup>/min. Um den Wert besser einschätzen zu können, wird ein Vergleichswert durch den zweiten Versuch ermittelt.

Abschnitt 2 wurde mit einer Coatex Schleifscheibe bearbeitet, welche mit groben metallgebundenen Diamanten versehen ist.

**Abbildung XVI: Coatex Schleifscheibe mit metallgebundenen Diamanten**





Der Versuchsablauf des zweiten Abschnittes erfolgte analog zum Abschnitt 1. Nach dem Versuchsvorgang wurde die Abtragstiefe von Abschnitt 2 mit Hilfe des Messmittels gemessen und ergab, dass sechs Millimeter der Beschichtung spanend abgetragen wurden. Im ersten Versuchsdurchgang wurden hingegen nur fünf Millimeter abgetragen. Hinzu kommt, dass der Schleifvorgang schon nach 68 Sekunden beendet wurde. Man kann darauf schließen, dass die verwendete Scheibe aggressiver und das Zeit-Spanungs-Volumen größer ist.

**Abbildung XVII: Ermittlung der Abtragstiefe von Abschnitt 2**



Für Abschnitt 2 ist ebenfalls das Zeit-Spanungs-Volumen zu ermitteln.

Tabelle 8: Zeit-Spanungs-Volumen  $Q_2$ 

<u>Ermittlung des Zeit-Spanungs-Volumen <math>Q_2</math></u>	
<b>Abmessungen des Abschnittes:</b>	Länge $l = 30 \text{ cm}$ Breite $b = 12 \text{ cm}$ Abtragstiefe $a = 0,6 \text{ cm}$
<b>Ermittlung des Abspannvolumens:</b>	<b>Formel 13</b> $V = l \cdot b \cdot a$ $V = 30\text{cm} \cdot 12\text{cm} \cdot 0,6\text{cm}$ $V = 216 \text{ cm}^3$
<b>Ermittlung des Zeit-Spanungs-Volumen:</b>	<b>Formel 14</b> $Q = \frac{V}{t}$ $Q = \frac{216 \text{ cm}^3}{68 \text{ s}}$ $Q = 3,18 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 190,59 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$

Quelle: Eigene Darstellung

Wie bereits erwähnt erzielte die Rondo-Schleifscheibe ein Zeit-Spanungs-Volumen von 128,57  $\text{cm}^3/\text{min}$ . Die Coatex-Schleifscheibe hingegen bewirkte ein Zeit-Spanungs-Volumen von 190,59  $\text{cm}^3/\text{min}$ . Wie bereits angenommen, ist die Coatex-Scheibe aggressiver.

Dies liegt an der Form der Beläge auf der Scheibe. Die Außenkanten der Beläge sind angeschrägt, sodass stets eine scharfe Kante trotz Abnutzung vorhanden ist.

Um einen weiteren Vergleichswert zu bekommen, wurde die zweite Betonplatte unter gleichen Bedingungen mit einer Fräsmaschine bearbeitet. Dazu wurde eine Baldur Flächenfräse RT 200 mit einer Bearbeitungsbreite von 200 Millimeter verwendet. Der Fräskorb besteht aus vier Achsen, die durch zwei Achsenverstärkungen in drei gleich große Abschnitte unterteilt wurden und alle vier Achsen miteinander verbinden. Die Achsen sind mit jeweils 19 Fräslamellen besetzt worden, welche mit Hartmetallspitzen versehen sind.

In den folgenden beiden Abbildungen sind zunächst die Fräsmaschine mit der Betonplatte und der Fräskorb mit den Fräslamellen dargestellt.

**Abbildung XVIII: Fräsmaschine mit beschichteter Betonplatte**



**Abbildung XIX: Fräskorb mit Fräslamellen**





Die Bearbeitung der Platte erfolgte auch hier durch einen Facharbeiter. Auch die Dokumentation der Zeit wurde wieder vorgenommen. Nach 118 Sekunden war der Fräsgang beendet. Anschließend ist die Oberfläche untersucht worden. Es konnte eine Abtragstiefe von fünf Millimetern gemessen werden. Die nächste Abbildung zeigt die Oberflächenstruktur nach diesem Fräsvorgang.

**Abbildung XX: Oberflächenstruktur nach Fräsdurchgang**



Es sind eindeutige Frässpuren zu erkennen. Auch mehrere Stege sind sichtbar, die aufgrund der Achsverstärkungen entstehen. Um solche Spuren zu vermeiden, muss stets auf die Anordnung der Fräslamellen geachtet werden. Im Punkt 3.1.2.1 wurde darauf bereits eingegangen.

Da solch ein Oberflächenbild nicht zufriedenstellend und auch nicht beschichtbar ist, muss ein weiterer Fräsgang durchgeführt werden. Allerdings nicht in der gleichen Richtung, sondern quer zur ersten Frässpur. Das bedeutet, die Oberfläche wird mittels Kreuzgang gefräst. Ein Nachteil des Fräsens ist, dass selbst nach einem Kreuzgang immer noch Spitzen in der Oberfläche vorhanden sind. Ein feines Oberflächenbild, welches vergleichbar mit einer durch das Schleifen erzeugte Oberfläche ist, kann selbst durch mehrere Fräsgänge nicht erzeugt werden.

Um eine Vorstellung des Zeit-Spanungs-Volumen zu bekommen, wird folgende Rechnung genutzt.

**Tabelle 9: Zeit-Spanungs-Volumen  $Q_3$**

<b><u>Ermittlung des Zeit-Spanungs-Volumen <math>Q_3</math></u></b>	
<b>Abmessungen des Abschnittes:</b>	Länge $l = 20 \text{ cm}$ Breite $b = 20 \text{ cm}$ Abtragstiefe $a = 0,5 \text{ cm}$
<b>Ermittlung des Abspannvolumens:</b>	<b>Formel 15</b> $V = l \cdot b \cdot a$ $V = 20\text{cm} \cdot 20\text{cm} \cdot 0,5\text{cm}$ $V = 200 \text{ cm}^3$
<b>Ermittlung des Zeit-Spanungs-Volumen:</b>	<b>Formel 16</b> $Q = \frac{V}{t}$ $Q = \frac{200 \text{ cm}^3}{118 \text{ s}}$ $Q = 1,695 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} = 101,7 \frac{\text{cm}^3}{\text{min}}$

Quelle: Eigene Darstellung

Das Zeit-Spanungs-Volumen beim Fräsen unter Einsatz der bereits beschriebenen Fräslamellenanzahl beträgt  $101,7 \text{ cm}^3/\text{min}$ . Im Vergleich zu den anderen Schleifvorgängen mit  $128,57 \text{ cm}^3/\text{min}$  und  $190,59 \text{ cm}^3/\text{min}$  zeigt, dass das Fräsen im Bereich des Abtrags von Beschichtungen auf Betonoberflächen das am wenigsten Effektivste ist. Der Vorgang des Fräsens und die Verwendung von Fräslamellen mit Hartmetallspitzen sind bei Beschichtungen nicht optimal, da die Werkzeugaufsätze nicht ausreichend in die Beschichtungen, aufgrund der schlagenden Wirkkraft, eintreten können. Es kann also keine ausreichende Schnitttiefe erzeugt werden.

Die ermittelten Zeit-Spanungs-Volumina und die errechneten Unterschiede bei der Verwendung der verschiedenen Schleifscheiben sind vorab nicht zu vermuten. Das Schleifen von Betonoberflächen, die Bearbeitung von Betonoberflächen allgemein, basiert auf Versuche. Auch wenn die gemachten Berechnungen zeigen, dass die verwendete Coatex-Schleifscheibe einen schnelleren und intensiveren Abtrag als die Rondo-Schleifscheibe erzielt, bedeutet es nicht, dass die Coatex-Scheibe immer die bessere ist. Auch wenn Betone standardisiert sind und definierte Betonqualitäten aufweisen müssen, können sie doch unterschiedlich sein. Das liegt an unterschiedlichen Einbaubedingungen und Nachbehandlungen. Daher kann jeder Betonboden anders auf das Schleifen reagieren. Dies trifft auch auf Beschichtungen zu. Allerdings können die Berechnungen beziehungsweise die bestimmten Zeit-Spanungs-Volumina als Anhaltspunkte beim Fräsen und Schleifen dienen.

### 5.3. Ökonomische Kenngrößen

Nicht nur die Qualität der Oberfläche oder die Produktivität der Werkzeuge sind von entscheidender Bedeutung. Es ist von immenser Wichtigkeit, ökonomische Kenngrößen in die Planung und Beurteilung von Großprojekten, wie das Instandsetzen eines Großbehälters, einzubeziehen.

Bei der Konzeptplanung sind, wie bereits im Kapitel 4.4 kurz angeschnitten, die entstehenden Kosten aufzuzeigen und zu kalkulieren. Das erfordert Kenntnisse der Betriebswirtschaftslehre. In dem folgenden Abschnitt soll eine grobe Kalkulation helfen, einen Eindruck über die entstehenden Kosten beim Fräsen und Diamantschleifen zu bekommen.

Pro Tag fallen verschiedene Kosten an. Hier sollen vorrangig Lohn-, Maschinen- und Werkzeugkosten betrachtet werden. Die Maschinen- und Werkzeugkosten sind beim Diamantschleifen um ein Vielfaches größer als beim Fräsen. Dies begründet sich teilweise in den viel höheren Anschaffungskosten der Schleifmaschinen und der Diamanten besetzten Werkzeuge.

Die nachstehende Tabelle zeigt zunächst eine Übersicht über grobe Kosten bei der Bearbeitung von Beton, welche auf Durchschnittswerte verschiedener Firmen basieren. Sollen bei einer Betonoberfläche zwei bis drei Millimeter abgetragen werden, zeigen Erfahrungswerte, dass eine Fläche von 300 Quadratmetern beim Fräsen und 150 Quadratmeter beim Diamantschleifen zu schaffen sind. Aufgrund dessen wird zunächst der Preis pro Quadratmeter eruiert.

**Tabelle 10: Kosten bei der Bearbeitung von Beton**

	<b>Fräsen</b>	<b>Diamantschleifen</b>
<b>Bearbeitung der Fläche pro Tag</b>	$300 \frac{m^2}{Tag}$	$150 \frac{m^2}{Tag}$
<b>Stundenverrechnungssatz je Arbeitskraft pro Stunde</b>	28,50 €	28,50 €
<b>2 Arbeitskräfte pro Tag; 8 Stunden pro Tag</b>	$456 \frac{€}{Tag}$	$456 \frac{€}{Tag}$
<b>Maschinenkosten pro Tag</b>	$185 \frac{€}{Tag}$	$315 \frac{€}{Tag}$
<b>Werkzeugkosten pro Tag</b>	$130 \frac{€}{Tag}$	$590 \frac{€}{Tag}$
<b>Kosten pro Tag</b>	$771 \frac{€}{Tag}$	$1361 \frac{€}{Tag}$
<b>Kosten pro Quadratmeter</b>	$2,57 \frac{€}{m^2}$	$9,07 \frac{€}{m^2}$

Quelle: Eigene Darstellung

Anhand der berechneten Preise kann man sehen, dass das Diamantschleifen um mehr als ein Dreifaches teurer ist als das Fräsen. Das liegt zum einen an den billigeren Fräsmaschinen und zum anderen daran, dass man mit dem Fräsen eine Betonoberfläche schneller bearbeiten kann. Dieses Berechnungsbeispiel trifft nur zu, wenn es um einen Abtrag von zwei bis drei Millimetern von Beton geht.

Der Abtrag einer Beschichtung ist viel aufwendiger. Daher ändert sich die Fläche, die pro Tag bearbeitet werden kann. Aufgrund von Erfahrungswerten wird davon ausgegangen, dass man bei der Bearbeitung der Beschichtung bei einer Stärke von fünf bis sechs

Millimetern beim Fräsen 110 Quadratmeter und beim Diamantschleifen 190 Quadratmeter pro Tag schaffen kann. Das Schleifen bearbeitet fast eine doppelt so große Fläche wie das Fräsen. Dies haben auch die berechneten Zeit-Spannungs-Volumina ergeben, wie bereits im Punkt 5.2 beschrieben.

Der große Unterschied zwischen Fräsen und Schleifen relativiert sich bei Erhöhung der Dicke der abzutragenden Schicht oder, wie bei der Instandsetzung von Tankbehältern, beim Abtrag von Beschichtungen.

Die nachstehende Tabelle zeigt Kosten bei der Bearbeitung von Beschichtungen.

**Tabelle 11: Kosten bei der Bearbeitung von Beschichtungen**

	<b>Fräsen</b>	<b>Diamantschleifen</b>
<b>Bearbeitung der Fläche pro Tag</b>	$110 \frac{m^2}{Tag}$	$190 \frac{m^2}{Tag}$
<b>Stundenverrechnungssatz je Arbeitskraft pro Stunde</b>	28,50 €	28,50 €
<b>2 Arbeitskräfte pro Tag; 8 Stunden pro Tag</b>	$456 \frac{€}{Tag}$	$456 \frac{€}{Tag}$
<b>Maschinenkosten pro Tag</b>	$185 \frac{€}{Tag}$	$315 \frac{€}{Tag}$
<b>Werkzeugkosten pro Tag</b>	$130 \frac{€}{Tag}$	$590 \frac{€}{Tag}$
<b>Kosten pro Tag</b>	$771 \frac{€}{Tag}$	$1361 \frac{€}{Tag}$
<b>Kosten pro Quadratmeter</b>	$7,01 \frac{€}{m^2}$	$7,16 \frac{€}{m^2}$

Quelle: Eigene Darstellung

Ausgehend von den berechneten Preisen, die bei der Bearbeitung von Beschichtungen fast gleich sind, könnte man davon ausgehen, dass es keine Rolle spielt, ob gefräst oder geschliffen wird.

Der signifikante Unterschied liegt darin, dass die gefräste Oberfläche nachgearbeitet werden muss. Die Oberflächenstruktur, die durch das Fräsen entsteht, ist keine beschichtungsfähige Oberfläche. Das bedeutet, die Fläche muss mittels Feinfräsen oder Diamantschleifen nachgearbeitet werden. Zu dem berechneten Preis von 7,01 Euro pro Quadratmeter muss noch der Preis für das Feinfräsen von 3 Euro pro Quadratmeter oder der Preis für das Diamantschleifen von 4,25 Euro pro Quadratmeter hinzu addiert werden. Im Zuge dessen ergibt sich ein Preis von entweder 10,01 oder 11,26 Euro pro Quadratmeter, wenn mit dem Fräsen begonnen wird. Wird die gesamte Oberfläche nur geschliffen, kann man von einem Kostenfaktor von 7,16 Euro pro Quadratmeter ausgehen.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Im folgenden Kapitel werden die gewonnen Erkenntnisse zusammengefasst. Anschließend soll ein Ausblick auf weitere Entwicklungsprozesse und das Potential der Thematik gegeben werden.

### 6.1. Zusammenfassung

Das Thema dieser Bachelorarbeit "Untersuchungen zur mechanischen Vorbearbeitung im Rahmen der Instandsetzung von Großbehältern aus Beton" ergab sich aus spezifischen Anforderungen an die Firma BSA Büchner Oberflächenservice GmbH, aber auch aus aktuellem Anlass. Viele Betonbauwerke in Deutschland haben die Grenzen ihres geplanten Lebenszyklus erreicht beziehungsweise bereits überschritten. Es existiert ein großer Rückstau an Reparaturen und Ersatzinvestitionen. Aufgrund knapper Kassen werden oftmals nur die unbedingt nötigsten Instandsetzungen ausgeführt. Auch bei den in dieser Arbeit untersuchten Tanks wurden komplexe Sanierungen immer wieder aufgeschoben.

Wie bereits dargestellt, wird der Beton in Großbehältern durch Beschichtungen geschützt. Diese Systeme sind zertifiziert und werden in Deutschland auch vom TÜV überwacht. Die vorhandenen Altbeschichtungen werden heutzutage mit völlig neuen Stoffen und Chemikalien, wie beispielsweise Biodiesel, konfrontiert. Diesen Angriffen sind die vorhandenen Beschichtungen und Betone nicht auf Dauer gewachsen. Auch deshalb steigt der Bedarf an Instandsetzungen. Erschwerend für die Sanierungsunternehmen ist die Tatsache, dass die existierenden Normen und Regelwerke widersprüchlich oder veraltet sind. Es kommen immer bessere Materialien zum Einsatz, doch die Maschinen- und Werkzeugentwicklung hält hier nicht Schritt. Die im Zuge dieser Bachelorarbeit gemachten Untersuchungen und Versuche sollen Anregungen sein, die sich öffnende Schere zu schließen. Neue Werkstoffe erfordern auch neue beziehungsweise weiterentwickelte Maschinen und Werkzeuge, sowie qualifizierte Anwender.

Zu Beginn wurde sich zunächst mit dem Baustoff Beton, den einzelnen Komponenten und den möglichen Betonschäden befasst. Danach wurden die verschiedenen Beschichtungssysteme dargestellt.

Es gibt unterschiedliche Vorgehensweisen, um reinen oder beschichteten Beton instand zu setzen. In dieser Arbeit wurde sich, wie bereits erwähnt, nur auf das Fräsen und Diamantschleifen konzentriert, da diese Verfahren die wichtigsten im Bereich der Betonbearbeitung sind. Bei der Untersuchung der Verfahren wurden auch die verschiedenen Einflussfaktoren betrachtet.

Die einzelnen Schritte bei Instandsetzungen, Vorortuntersuchungen, Haftzugsprüfungen der Oberflächen wurden vorgestellt. Einige Verfahren, wie das Sandflächenverfahren, sind nur an horizontalen oder leicht geneigten Flächen anwendbar.

Nachdem die Oberfläche untersucht und die Baustelle mit den möglichen Gefahren beurteilt wurde, konnte dazu übergegangen werden, ein Konzept aufzustellen. In dem dazugehörigen Abschnitt wurden die Abläufe beim Entschichten und anschließenden Bearbeiten der Oberfläche beschrieben und erörtert.

Da es im Bereich der Betonsanierung nur wenige Zahlenwerte und Daten gibt, wurde durch Einführung von Beurteilungskriterien versucht, Kenngrößen zu entwickeln. Dazu wurden Qualitäts- und Produktivitätsparameter beschrieben und teilweise durch Versuche ermittelt und berechnet. Eine anschließende Kostenübersicht sollte helfen, das Fräsen und Schleifen von Betonoberflächen besser und schneller ökonomisch und wirtschaftlich zu beurteilen.

## **6.2. Ausblick**

In der heutigen Zeit wird es für die Menschen immer wichtiger in einer gesunden Umgebung zu leben. Das Bewusstsein in Bezug auf Umweltgefahren steigt. Deshalb werden auch die Anforderungen und Auflagen beim Bau, beim Betreiben von kommerziell genutzten Großanlagen beziehungsweise bei Instandsetzungen ständig erhöht. Die Stilllegung von Atomkraftwerken in Deutschland ist ein Beispiel, welche weitreichenden Konsequenzen die wachsende Angst vor möglichen Schäden, Havarien und technischen Katastrophen haben kann. Allein der sichere und wirtschaftliche Rückbau dieser Anlagen ist eine gewaltige Herausforderung. Es liegt auf der Hand, dass hier höchste Sicherheitsstandards eingehalten werden müssen. Verstrahlter Beton sollte nicht allein aus Kostengründen nur bis zu einer zu ermittelnden kontaminierten Schichtstärke abgetragen werden. Es muss auch verhindert werden, dass die über Jahrzehnte einzulagernden verstrahlten Betonmengen nicht extreme Volumina erreichen.

Das Prinzip - so viel Schichtabtrag wie nötig, so wenig wie möglich - ist auch der Leitgedanke dieser Arbeit. Es erfordert die konsequente Weiterentwicklung von erprobten technischen Abtragverfahren.

Für die Lösung der Probleme, die bei der Bearbeitung von horizontalen Flächen aufkommen, gibt es große Erfahrungen. Der Fortschritt ist in diesem Bereich am größten. Diese Bachelorarbeit verweist auf den Nachholbedarf im Wand- und Deckenbereich. Kraftwerke, Silos, Faultürme, Großspeicher, Windkraftanlagen und auch die hier betrachteten Tankbehälter sind durch große, vertikale Flächen geprägt. All diese Oberflächen sind Angriffen aus der Umgebung und Verschleiß ausgesetzt.



Schutz, Sanierung oder wie bei den Atomkraftwerken, sicherer und wirtschaftlicher Rückbau sind für die Zukunft unausweichlich. Die gegenwärtig verfügbaren Verfahren, Maschinen und Werkzeuge reichen dafür nicht aus. Besuche auf der BAUMA 2013 in München, welche eine der weltgrößten Veranstaltungen in dieser Branche ist, haben dies bestätigt. Es gibt kaum Spezialmaschinen und nur wenige Haltevorrichtungen und Hilfskonstruktionen, die für die Wandbearbeitung vorgesehen sind. Der Nachholbedarf ist offenkundig.

Die schnelle Entwicklung neuer Betone und Beschichtungssysteme, in Verbindung mit immer komplizierteren Bauwerkskonstruktionen, machen deutlich, welch weitreichendes Potential in der untersuchten Thematik enthalten ist.

Es ist von größter Wichtigkeit, in diesen Bereichen weitere Versuche durchzuführen, um bessere Werkzeuge und Maschinen zu entwickeln. Die Zukunft liegt in der Weiterentwicklung der Schleiftechnik und deren Maschinen. Ideal wäre ein System, welches die Vorteile des Fräsens und des Schleifens verbindet. Es sollte versucht werden, die schnellen Werkzeugwechsel und der Einsatz von Diamanten auf einem Fräswerkzeug zu vereinigen. Dazu die geeignete Maschine und das entsprechende Führungs- und Haltesystem zu entwickeln, ist eine weitere Herausforderung.

## Literaturverzeichnis

Allgemeine Hinweise zu Megaplast Bodenbeschichtungssysteme. URL: <[http://www.megaplast-bauchemie.de/\\_srv.write/assets/Download-Allgemein/Kapitel\\_01\\_Allgemeine\\_Hinweise.pdf](http://www.megaplast-bauchemie.de/_srv.write/assets/Download-Allgemein/Kapitel_01_Allgemeine_Hinweise.pdf)>, verfügbar am 12.03.2013

Antwortkatalog Produktionstechnik Stand WS 08/09. URL: <[http://www.andreas-raab.eu/Download/Universitaet/Klausuren/Produktionstechnik/Produktionstechnik\\_Fragenkatalog.pdf](http://www.andreas-raab.eu/Download/Universitaet/Klausuren/Produktionstechnik/Produktionstechnik_Fragenkatalog.pdf)>, verfügbar am 27.05.2013

Arbeitssicherheit und Gesundheitsschutz am Bau. URL: <[www.bgbau-medien.de/html/pdf/merkhefte/arbeits.pdf](http://www.bgbau-medien.de/html/pdf/merkhefte/arbeits.pdf)>, verfügbar am 01.08.2013

Asendorf, K.: Die Behandlung von Rissen in Betonbauwerken: Zehnter Teil einer Serie zur Betoninstandsetzung. In: Sonderdruck aus: Baugewerbe - Magazin für Bauunternehmer. Concrete Chemie

Asendorf, K.: Freilegen der Betonschadstellen: Siebter Teil einer Serie zur Betoninstandsetzung. In: Sonderdruck aus: Baugewerbe - Magazin für Bauunternehmer. Concrete Chemie, BG 10/87

Asendorf, K.: Materialien PCC, PC und CC: Dritter Teil einer Serie zur Betoninstandsetzung. In: Sonderdruck aus: Baugewerbe - Magazin für Bauunternehmer. Concrete Chemie, BG 4/87

Asendorf, K.: Ursachen von Betonschäden: Erster Teil einer Serie zur Betoninstandsetzung. In: Sonderdruck aus: Baugewerbe - Magazin für Bauunternehmer. Concrete Chemie, BG 3/87

Bauen mit Beton. In: greenhome: März/April 2012, S. 75-77

Bauschutz GmbH. Brückensanierung: Betonbrücken. Stahlbrücken

Befahren von Behältern und Gruben. URL: <[www.arbeitsinspektion.gv.at/AI/Arbeitsstaetten/Arbeitsvorgaenge/arbeitsvorgaenge070.htm](http://www.arbeitsinspektion.gv.at/AI/Arbeitsstaetten/Arbeitsvorgaenge/arbeitsvorgaenge070.htm)>, verfügbar am 31.07.2013

Betriebsanleitung Blastrac BMP-EHY 320. Stand C1/2001

Butting: 10.3. Beton- und Stahlbetonarbeiten. URL: <[http://www.butting.de/fileadmin/Redakteure/PDF/Neubauten\\_Quattek/10.3\\_Vorbemerkungen\\_Beton-\\_und\\_Stahlarbeiten.pdf](http://www.butting.de/fileadmin/Redakteure/PDF/Neubauten_Quattek/10.3_Vorbemerkungen_Beton-_und_Stahlarbeiten.pdf)>, verfügbar am 27.05.2013

Contec GmbH: CT 200, Betriebsanleitung. URL:  
[http://www.contecgmbh.ch/images/stories/oberflaechentechnik/fraesmaschinen/ct\\_200/ct\\_200\\_bedien.pdf](http://www.contecgmbh.ch/images/stories/oberflaechentechnik/fraesmaschinen/ct_200/ct_200_bedien.pdf), verfügbar am 27.05.2013

Dipl. Ing. Glatz, Paul; Dipl. Ing. Rummel, Michael; Peiniger RöRo GmbH Leverkusen:  
 Oberflächenvorbereitung für die Betoninstandsetzung: Schadensursache und  
 Schadensbilder am Beton, Vorbereitungsverfahren. - Korrosionsschutz - Seminar:  
 Moderne Verfahren der Oberflächenvorbehandlung - Gemeinschaftsveranstaltung I  
 Institut für Korrosionsschutz Dresden, Leverkusen, April 2004

Ebner, M.; Sparowitz, L.: Konzepte der Betonerhaltung. URL:  
[http://elearningblog.tugraz.at/scms/data/alt/publication/02\\_Lamellenverst.pdf](http://elearningblog.tugraz.at/scms/data/alt/publication/02_Lamellenverst.pdf),  
 verfügbar am 26.08.2013

Epoxidharze. URL:  
<http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/9/mac/stufen/polyaddition/epoxide/epoxidharz.vlu/Page/vsc/de/ch/9/mac/stufen/polyaddition/epoxide/epoxeigen.vscml.html>, verfügbar am 13.09.2013

Europäische Normung: Prüfung der Oberflächenrauheit mit Hilfe von  
 Vergleichsmustern - DIN EN 1370: Visuelle Bestimmung von Oberflächenfehlern an  
 Stahl-Sandgussstücken - DIN EN 12 454. URL:  
[http://www.kug.bdguss.de/fileadmin/content/Publikationen-Normen-Richtlinien/buecher/DIN\\_EN\\_1370\\_12\\_454.pdf](http://www.kug.bdguss.de/fileadmin/content/Publikationen-Normen-Richtlinien/buecher/DIN_EN_1370_12_454.pdf), verfügbar am 27.05.2013

Feuerherdt, Bernd: Betoninstandsetzung in der Praxis. - Caparol Farben - Lacke  
 Vertriebs GmbH, Berlin, 12/97

FH Mittweida, Maschinenbau: Modulhandbuch bis Matrikel 2010. S. 80

FRÜH Maschinen: Maschinen & Zubehör zur Fussbodenbearbeitung und  
 Untergrundvorbereitung: Frästrommel + Werkzeuge RT 320/3200 + RM 320. - Erwin  
 Früh GmbH, Schorndorf

Gefährdungsbeurteilung. URL: [http://www.bgbau-medien.de/bausteine/a\\_209/a\\_209.htm](http://www.bgbau-medien.de/bausteine/a_209/a_209.htm), verfügbar am 23.08.2013

Gefährdungsbeurteilung. URL: [http://www.bgbau-medien.de/bausteine/a\\_209/a\\_209.htm](http://www.bgbau-medien.de/bausteine/a_209/a_209.htm), verfügbar am 23.08.2013

Gefährdungsbeurteilung. URL:  
[www.bgbau.de/asd\\_der\\_bgbau/arbeitsmedizin/gefaehrdg](http://www.bgbau.de/asd_der_bgbau/arbeitsmedizin/gefaehrdg), verfügbar am 23.08.2013

Haftung und Gitterschnitt. URL: [www.malerlexikon.de/werkzeug/gl/gl/haftung.html](http://www.malerlexikon.de/werkzeug/gl/gl/haftung.html),  
 verfügbar am 15.08.2013

Heidelberg Cement: Prüfen von Festbeton. URL: <[http://www.beton-technische-daten.de/11/11\\_2.htm](http://www.beton-technische-daten.de/11/11_2.htm)>, verfügbar am 27.05.2013

Holz, Robert; Sauren, Josef: Schleiftechnisches Handbuch: Schleifen mit Diamant und CBN. - Essen: Vulkan-Verl., 1988 (Winter Diamantwerkzeuge, Bornitridwerkzeuge)

Klocke, Fritz; König, Wilfried: Fertigungsverfahren: Drehen, Fräsen, Bohren. - 8., neu bearbeitete Aufl. Berlin: Springer, 2008

Kunststoffe zum Kennenlernen - Epoxidharze. URL: <<http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/epoxidharze.htm>>, verfügbar am 03.07.2013

Kunststoffe zum Kennenlernen - Polyurethane. URL: <<http://www.chemie.fu-berlin.de/chemistry/kunststoffe/urethan.htm>>, verfügbar am 03.07.2013

Kunze, Wilfried: Karbonatisierung. URL: <<http://www.elkage.de/src/public/showterms.php?id=1037>>, verfügbar am 27.05.2013

Laux, Frank.: Haftbrücke aus hartkornverzahnten Epoxidharzbelägen: Verbesserung der Schubübertragung zwischen Altdecke und Aufbeton. In: Sonderdruck aus 39 (1989) H. 10, S. 440/442. Concrete Chemie, Rüsselsheim

Mann, Oliver: Prüfung der Oberflächenzugfestigkeit von Beton. URL: <[http://www.mpva.de/Uebergreifendes/downloads/Pruefung\\_der\\_Oberflaechenzugfestigkeit\\_von\\_Beton\\_01\\_02\\_2011.PDF](http://www.mpva.de/Uebergreifendes/downloads/Pruefung_der_Oberflaechenzugfestigkeit_von_Beton_01_02_2011.PDF)>, verfügbar am 27.05.2013

Mellmann, G.; Meinhold, U.; Maultzsch, M.: Verbundeigenschaften von Instandsetzungssystemen auf Baukonstruktionen. URL: <[http://www.dgm.de/download/tg/706/706\\_116.pdf](http://www.dgm.de/download/tg/706/706_116.pdf)>, verfügbar am 27.05.2013

Norm DIN 4226-100:2002-02. Gesteinskörnungen für Beton und Mörtel

Norm DIN 8580:2003-09. Hauptgruppen der Fertigungsverfahren

Norm DIN ISO 6104:2005-08. Form und Beläge von Schleifscheiben

Nürnberger, U.: Korrosionsbedingte Schäden im Stahlbeton- und Spannbetonbau: Teil 1: Korrosion von Stahl in Beton - FMFA Baden-Württemberg, Stuttgart, 1990

Perovic, Bozina: Spanende und abtragende Fertigungsverfahren: Grundlagen und Berechnung; mit 105 Tabellen. - Renningen: expert Verlag, 2000

Petermann, Adolf: Benzin- und Ölbehälter aus Stahlbeton. - Berlin: Verl. Technik, 1955

Polyurethanbeschichtungen. URL: <<http://www.polyurethanbeschichtung.com/pu-grundlagen/vorteile.html>>, verfügbar am 13.09.2013

Prof. Dr. - Ing. F. Klocke: Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneiden-Teil 1. URL: <[www.wzl.rwth-aachen.de/de/629c52491e476b86c1256f580026aef2/fti\\_v07\\_verfahren\\_definierte\\_schneide.pdf](http://www.wzl.rwth-aachen.de/de/629c52491e476b86c1256f580026aef2/fti_v07_verfahren_definierte_schneide.pdf)>, verfügbar am 03.05.2013

Prof. Dr. - Ing. R.-R. Schulz: Untergrundbearbeitung und -prüfung - REWI Verlag - Kempten

PTB: Kalibrierung von Rauheitskenngrößen. URL: <<http://www.ptb.de/cms/fachabteilungen/abt5/fb-51/ag-515/tastschnittverfahren0.html>>, verfügbar am 27.05.2013

Riegger Diamant: Abmessung Diamant- und CBN-Schleifscheibe. URL: <<http://www.riegger-diamant.de/grundlagen/abmessungen-schleifscheibe.php>>, verfügbar am 27.05.2013

Riegger Diamant: Aufbau Diamant- und CBN-Schleifscheiben. URL: <<http://www.riegger-diamant.de/grundlagen/aufbau-schleifscheibe.php>>, verfügbar am 27.05.2013

Riegger Diamant: Bindungen. URL: <<http://www.riegger-diamant.de/grundlagen/bindungen.php>>, verfügbar am 27.05.2013

Riegger Diamant: Konzentration. URL: <<http://www.riegger-diamant.de/grundlagen/konzentration.php>>, verfügbar am 27.05.2013

Riegger Diamant: Schleifbelag von Diamant- und CBN-Schleifscheiben. URL: <<http://www.riegger-diamant.de/grundlagen/schleifbelag.php>>, verfügbar am 27.05.2013

Riegger Diamant: Schleifkörnungen. URL: <<http://www.riegger-diamant.de/grundlagen/schleifkoernung.php>>, verfügbar am 27.05.2013

Riegger Diamant: Zerspanung mit polykristallinen Schneidstoffen. URL: <<http://www.riegger-diamant.de/grundlagen/zerspanung.php>>, verfügbar am 27.05.2013

Sanierungskonzepte von Grundstückentwässerungen. URL: <[www.ikt.de/online/f0098/ebene4/kapitel\\_4\\_3\\_1\\_2.html](http://www.ikt.de/online/f0098/ebene4/kapitel_4_3_1_2.html)>, verfügbar am 16.08.2013

Schlussbericht/Erfolgsbericht Firma BSA Oberflächenservice Büchner GmbH: FuE:0904/00074

Schmitz Metallographie GmbH: Diamantpulver. URL: <<http://www.schmitz-metallographie.de/de/ida-industriediamant-aachen/diamantpulver>>, verfügbar am 27.05.2013

Schulungsunterlagen der Firma Atlas Diamant Werkzeuge GmbH, Stand 2013

Schutz und Instandsetzen von Bauteilen. URL: <<http://www.bauwerksinstandsetzung.de/inhalte/pdf/instands-betonbauteile1.pdf>>, verfügbar am 12.03.2013

Stenner, R.: Schutz von Stahlbetonoberflächen (OS): nach ZTV-SIB und KIB-Richtlinie. Concrete-Chemie, 6090 Rüsselsheim

Tetec Thermo-Technik Müller: Umrechnung von Mesh in Micron. URL: <[http://www.tetec-mueller.de/Dokumente/Pdf/Common/d/MeshToMicron\\_d.pdf](http://www.tetec-mueller.de/Dokumente/Pdf/Common/d/MeshToMicron_d.pdf)>, verfügbar am 22.10.2013

Ullrich, Andreas: Diplomarbeit. Betonsanierung im Hochbau am Beispiel von Stahlbetonbauteilen, die der Witterung ausgesetzt sind. URL: <[http://www.faass-bs.de/faass-bs.de/Downloadcenter/Dokumente/Faass\\_Diplomarbeit\\_Betonsanierung.pdf](http://www.faass-bs.de/faass-bs.de/Downloadcenter/Dokumente/Faass_Diplomarbeit_Betonsanierung.pdf)>, verfügbar am 20.10.2013

VIASOL Untergrundvorbereitung. URL: <[www.viacor-polymeres.com/fileadmin/downloads/Leitfaden/VIASOL\\_Rautiefenbestimmung.pdf](http://www.viacor-polymeres.com/fileadmin/downloads/Leitfaden/VIASOL_Rautiefenbestimmung.pdf)>, verfügbar am 15.08.2013

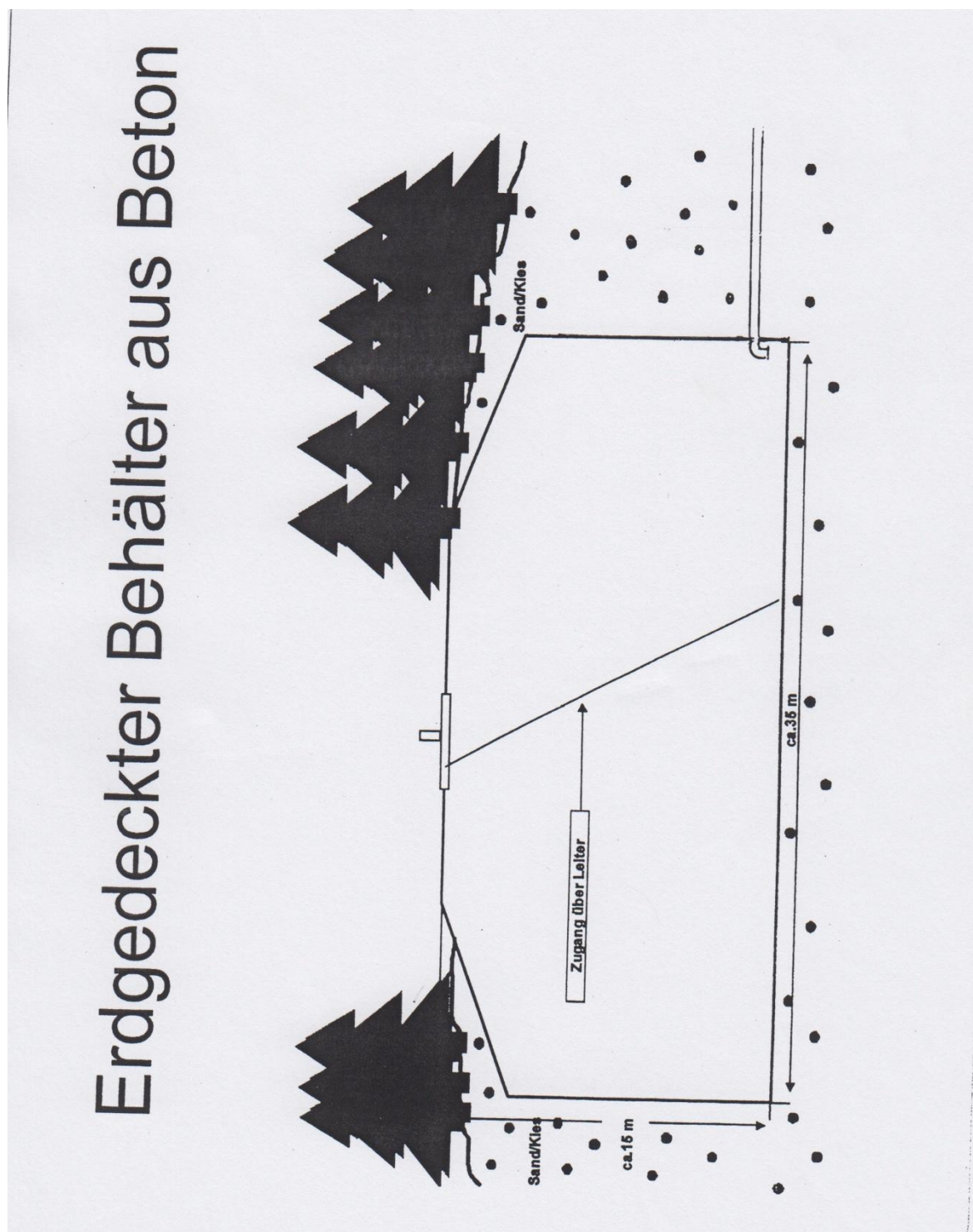
Vibrationsbedingtes Vasospatisches Syndrom. URL: <[www.humanschwingung.de/index.php?nav1=3](http://www.humanschwingung.de/index.php?nav1=3)>, verfügbar am 11.09.2013

Von ARX AG: Bedienungsanleitung FR 200. - CH-4450 Sissach

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Ingenieurbauten ZTV-ING Teil 3 Massivbau, Stand 04/10. URL: <[http://www.farbe-bfi.de/1003\\_ZTV-ING-Teil-3-Abschn-4-Schutz-Instands\\_Beton.pdf](http://www.farbe-bfi.de/1003_ZTV-ING-Teil-3-Abschn-4-Schutz-Instands_Beton.pdf)>, verfügbar am 27.08.2013

## Anhang

Darstellung I: Erdgedeckter Tank



Quelle: Eigene Darstellung

## Darstellung II: Umrechnungstabelle US/mesh in Millimeter

U.S. mesh	Inches	Microns	Millimeters
3	0,2650	6730	6,730
4	0,1870	4760	4,760
5	0,1570	4000	4,000
6	0,1320	3360	3,360
7	0,1110	2830	2,830
8	0,0937	2380	2,380
10	0,0787	2000	2,000
12	0,0661	1680	1,680
14	0,0555	1410	1,410
16	0,0469	1190	1,190
18	0,0394	1000	1,000
20	0,0331	841	0,841
25	0,0280	707	0,707
30	0,0232	595	0,595
35	0,0197	500	0,500
40	0,0165	400	0,400
45	0,0138	354	0,354
50	0,0117	297	0,297
60	0,0098	250	0,250
70	0,0083	210	0,210
80	0,0070	177	0,177
100	0,0059	149	0,149
120	0,0049	125	0,125
140	0,0041	105	0,105
170	0,0035	88	0,088
200	0,0029	74	0,074
230	0,0024	63	0,063

Quelle: Tetec Thermo-Technik Müller: Umrechnung von Mesh in Micron. URL: <[http://www.tetec-mueller.de/Dokumente/Pdf/Common/d/MeshToMicron\\_d.pdf](http://www.tetec-mueller.de/Dokumente/Pdf/Common/d/MeshToMicron_d.pdf)>, verfügbar am 22.10.2013



## **Selbstständigkeitserklärung**

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Halle, den 25.10.2013

Ellen Büchner